ISSN 0915-4698

環動昆

報文

八木雅之・笹川満廣：コガタシマトビケラの生活史と群飛行動 …… 1

吉村剛・角田邦夫・高橋旨象・勝田純郎：イエシロアリに対する昆虫寄生菌*Conidiobolus coronatus*の病原性（英文）……11

南手良裕・藤江真子・林文夫・勝田純郎：シラフルオフェン（Hoe-498）の衣料害虫防除分野への適用 ……17

亀井正治・浅野昌司・吉川和哉・石井孝：し尿浄化槽に発生するオオチョウバエ*Clogmia albipunctata*（WILLISTON）に対するmethoprene及びその徐放製剤Altosid® 10Fの効果 ……24

短報

亀井正治・島田秀弥・浅野昌司・石井孝：日本及び中国産アカイエカのmethoprene及び数種の有機リン系殺虫剤に対する感受性（英文）……30

解説

渡辺弘之：動物（哺乳類）調査とデータ解析の手法……33

由井正敏：野鳥調査とデータ解析の手法……40

徳丸久衛：生物指標の考え方とデータ解析法—身近な生きもの調査をめぐる—考察—……45

会報……56

会員動静

日本環境動物昆虫学会会則

日本環境動物昆虫学会投稿規定

学術会議だより

Vol. 4 1992

1

日本環境動物昆虫学会

環動昆
第4巻　第1号：1－10（1992）

コガタシマトビケラの生活史と群飛行動*

八木雅之・笹川満廣

京都府立大学農学部

（受理：1991年5月21日）

Life History and Swarming Behaviour of Caddis Fly, *Cheumatopsyche brevilineata* (IWATA) (Trichoptera:Hydropsychidae). Masayuki YAGI and Mitsuhiro SASAKAWA (Laboratory of Entomology, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Shimogamo, Kyoto, 606 Japan). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 4 : 1-10 (1992)

The occurrence of a caddis fly, *Cheumatopsyche brevilineata,* during the summer season has much annoyed the citizens beside the Kamogawa River in Kyoto. Its seasonal occurrence in both larval and pupal populations and a relationship between swarming and climatic conditions were investigated in 1986-88. It passes through 3 generations:the first from the end of May to July, second, the end of June to September, and third, mid-September to the next June ; overwintering in the 3rd-5th larval stadia. The highest larval and pupal densities reached about 5,900 per square meter at the end of August, 1986 and about 4,500 in the middle of June, 1987, but those were greatly decreased by levelling work on the river-bed with bulldozers or flooding after a heavy rain. Larvae had 5 stadia with about a 1.5 growth ratio, and were algophagous as in *C. echigoensis* (TSUDA), judging from the examination of fore-gut contents. Larvae of the second generation were smallest in width of head-capsule as compared with those of other generations, because of a high water temperature and low consumption of algae. Most of adults emerged at 16 : 00-21 : 00 p.m. and survived for about one week (7.4 days in females and 8.3 in males). Virgin females had 280 matured eggs on an average within their ovaries. Females deposited 272 eggs in an egg-mass on the sides of stones in the shallows. Swarming by males was observed at dusk (500-10,000 lux in June and 2,000-25,000 in Sept.-Oct., 20-32℃, 35-68% r.h.), and it occurred whenever the illuminance decreased suddenly (-219 lux/min. on an average in June and -248 in Sept.-Oct. within the limits of illuminance described above). Females did not join with males in a swarm. Mating did, therefore, not taka place in swarm flight as in the Dipterous insects.

Key Words : *Cheumatopsyche brevilineata,* Number of generations, Larval and pupal densities, Larval size, Algophagous, Swarming, Illuminance.

＊京都府立大学農学部昆虫学研究室業績　第244号

賀茂川（京都市）の優占種であるコガタシマトビケラ *Cheumatopsyche brevilineata*（IWATA）の生活史を明らかにするために，1986年８月から1988年10月にかけて定期的に幼虫および蛹を採集したほか，夕刻における成虫の群飛行動と気象要因との関係について検討した。本種は年３世代を経過し，３～５齢幼虫で越冬する。幼虫は５齢を経過し，藻類とデトリタスを摂取する。第２世代幼虫は他世代のそれらに比べて小さい。成虫は夕刻から羽化しはじめ，約１週間生存する。雌成虫は瀬にある底石の側面部に１卵塊を産みつける。樹木の枝や幹を包むような形の群飛は雄のみによって形成され，その行動は照度，照度較差，気温，湿度，日没前時刻などに支配され，とくに照度較差が解発因になっている。なお，ブルドーザーによる河床整正は，豪雨による増水ほん流と同じように，トビケラ類幼虫に対する物理的防除効果のあることがわかった。

はじめに

賀茂川は京都北山（標高約700ｍ）を源とし，高野川と合流して京都市中央部を南北に流れ，桂川と合流したのち淀川に至る全長約35㎞の河川である。また，琵琶湖疏水は京都市蹴上付近で暗渠から出たのち，開渠となって川端二条付近で賀茂川に放流されている。

本河川には優占種であるコガタシマトビケラ *Cheumatopsyche brevilineata*（IWATA）のほか，エチゴシマトビケラ *C. echigoensis*（TSUDA），ウルマーシマトビケラ *Hydropsyche orientalis* MARTYNOV，ギフシマトビケラ *H. gifuana*（ULMER），オオシマトビケラ *Macrostemum radiatum*（MCLACHLAN）などのシマトビケラ類が生息している。そのほかに少数のアオヒゲナガトビケラ *Mystacides azurea*（LINNAEUS），ニンギョウトビケラ *Goera japonica* BANKS もみられる。

木村（1957）は，1956年に本川の上流（御薗橋周辺）と中流（北大路橋周辺）における水生生物相を調査し，後者の群集構造が単純であるのは周辺の住宅増加による水質汚濁の結果であろう，とした。その後，1960～70年代には周辺の急激な宅地化や人口増による環境汚染が進んだ結果，賀茂川の水質が著しく悪化し，夏季にはユスリカ類，特にセスジユスリカ *Chironomus yoshimatsui* MARTIN et SUBLETTE が毎年大発生し，市民から不快昆虫として問題視された。ところが近年では，それがトビケラ類に置き換わり，特にコガタシマトビケラの幼虫が多発生し，多数の成虫が夜間，流域周辺の住宅や飲食店の灯火に飛来して被害をもたらすようになった（佐々木ら，1985）。これらの水生昆虫の発生消長や優占種の変遷は本河川の環境変化を反映した結果でもある。京都府公害対策技術者会議では1983年より「河川に発生するトビケラ類の生態と防除について」という研究課題に取り組み，賀茂川に発生するコガタシマトビケラ幼虫の生態については足立ら（1985～88）が主として個体数変動と水質との関係について，笹川・吉安（1985～88）は成虫の発生消長と群飛について報告している。しかし，本種の生活史の詳細については不明であった。そこで，賀茂川および琵琶湖疏水で幼虫・蛹を定期的に採集し，その発生消長から生活史を明らかにするとともに河川環境が幼虫の発育に及ぼす影響を考察した。また，成虫の群飛行動と気象要因との関係を詳しく調べ，その解発因の解析と行動学的意義について検討を行ったので，ここに報告する。

調査場所と方法

調査地点は賀茂川源流部より下流約20㎞，標高70ｍの北大路橋付近で，川幅は約50ｍ，水深は10～100㎝である。橋の上・下流には約100ｍごとに高さ約70㎝の堰堤が設けられ，堰堤下はコンクリートブロックが敷設されている。川底は主として石礫（長径５～20㎝）が占め，河川形態はBb型である。流路の中央と両端には雑草の茂る狭い中州があり，河川敷は公園になっている。

調査期間は1986年８月から1988年10月までで，約１週間または１か月ごとに，橋の下流にある２堰堤間の比較的平らな瀬の部分で５ｍ離れた２区をランダムに選んで幼虫および蛹を採集した。その際，50×50㎝のサーバーネット（１㎜目）を用いて底石ごと採集した後，直ちに５％ホルマリン溶液で固定した。同時に（午前11時前後）気温，水温，表面流速，平均水深，底石の状態，溶存酸素量（DO）の測定を行った。実験室に持ち帰った石礫上の幼虫および蛹はすべて集め，75％エタノール中に保存した。後日，実体顕微鏡下でコガタシマトビケラ幼虫

を選別したのち，接眼マイクロメーターで幼虫の点眼後部間の頭幅（最大幅）を測定し，齢期を判定した。齢別幼虫と蛹の個体数を数え，平均構成比（%）を求めた。

幼虫の前腸内容物はCUMMINS(1973)の方法に従って調べ，藻類・維管束植物・動物質・デトリタス（微小有機粒子）に分類した。供試個体数は第3齢幼虫は8匹，第4・5齢幼虫は各5匹とし，600倍の倍率下でプレパラート当り20の全視野に見られる平均粒数を求め，構成比(%)を算出した。なお，比較のためエチゴ・ウルマー・ギフ・ナカハラシマトビケラ（宇治川産）*Hydropsyche setensis* IWATA・オオシマトビケラの各5齢幼虫の前腸内容物についても調べた。

成虫の生存日数を調べるために，1988年10月に蹴上付近の導水路で幼虫・蛹を底石ごと採集し，実験室内で水槽中で飼育を続けた。夕刻から夜間にかけて羽化した成虫を翌朝収集して雌雄に分け，金網蓋付きガラス管瓶（長さ12.5㎝，直径3.5㎝)に2～16匹を入れ，20.0±1.0℃，16L：8Dの恒温室内で飼育した。餌としては脱脂綿にしみこませた水だけを与え，毎日一定時刻に観察した。また，羽化5～8日目の処女雌を解剖して蔵卵数を数えた。さらに，卵塊当りの卵数調査には，1988年9月に北大路橋下流の瀬で採集した石礫上の卵塊を用いた。

成虫の群飛（スウォーム）は，1988年6月6・7・10・13・20日と9月29日，10月15・22日に北大路橋下流の左岸堤防に植栽されたエノキ並木で観察した。観察は午後，日没まで実施し，1分ごとに行動を記録した。飛翔個体数を基準にして，全く飛翔しなかったときは階級0とし，1～9匹，10～49匹，50匹以上の飛翔をそれぞれ階級1，2，3とした。飛翔行動は風や振動によって発生することがあるため，明瞭な階級2・3の場合を群飛とした。同時に1分ごとに照度を，5分ごとに温度と湿度を測定し，照度変化は相連続する照度の較差によって求めた。また，群飛個体の性比を知るために9月19・21・23日の3日間同じ場所で，夕刻に群飛しているときと，群飛していないときの成虫集団を5か所でスウィーピング（10回振り）によって採集し，雌雄に分けた。

なお，調査地点において，1986年11月1日～12月11日には堰堤補修工事と河床整正が実施され，1987年4月2日にはブルドーザーによる河床の全面整正が行われた。また，1987年7月14日と19日にはそれぞれ111.5㎜と86.5㎜の集中豪雨（京都地方気象台発行の気象月報による）があって河床の様相が大きく変化し，1986年11月以

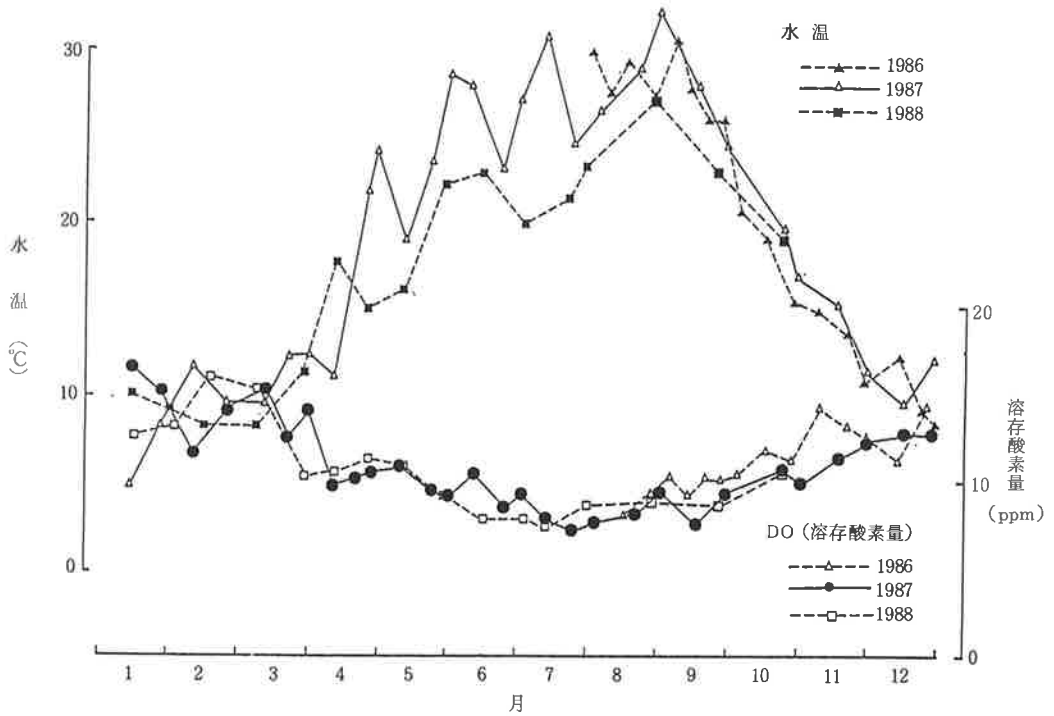


図1　調査地点の水温と溶存酸素量（DO）の季節変動

前のように中州が復元した。

結　果

1. 生活史

川の水温と溶存酸素量の年次変動

1986年８月から1988年10月までの幼虫採集時に測定した水温と溶存酸素量（DO値）の変動を図１に示した。水温は８～９月に高く，1986・87年度の平均水温は27.9℃で，30℃を超す日もあった。1988年度は低温で，６～７月の水温は1987年５月ごろのそれとほぼ同程度であり，盛夏期に入っても30℃を超えることがなかった。秋期から冬期にかけては各年度ともほぼ同様の下降傾向を示した。12月下旬から３月にかけての水温は低く，最低水温は1987年で4.7℃(１月13日)，1988年では8.3℃（３月７日）であった。

DO値は各年度ともほぼ同様の変動を示し，夏期に低く(６～８月の平均値は8.7ppm)，冬期に高かった（12～３月の平均14.8ppm)。

なお，表面流速は，降雨による変動時を除いて，全調査期間を通じて0.3～0.7m/sで，停滞したり，干上がったりすることは決してなかった。

幼虫および蛹の個体数変動

採集日ごとの幼虫および蛹の総個体数ならびに幼虫の齢構成は図２のようであった。ただし，幼虫は，頭幅測定値の頻度分布からみて，明らかに５齢を経過し，各齢幼虫（1986年度第２世代）の平均頭幅値（y，対数値）と齢数(x)とのあいだには$y=0.176x-0.911$（$r=0.99^{***}$）の関係式が得られた。

総個体数は，1986年８月29日に5,870匹/㎡のピークがみられたのち，10月には2,000匹前後の低い山が，1987

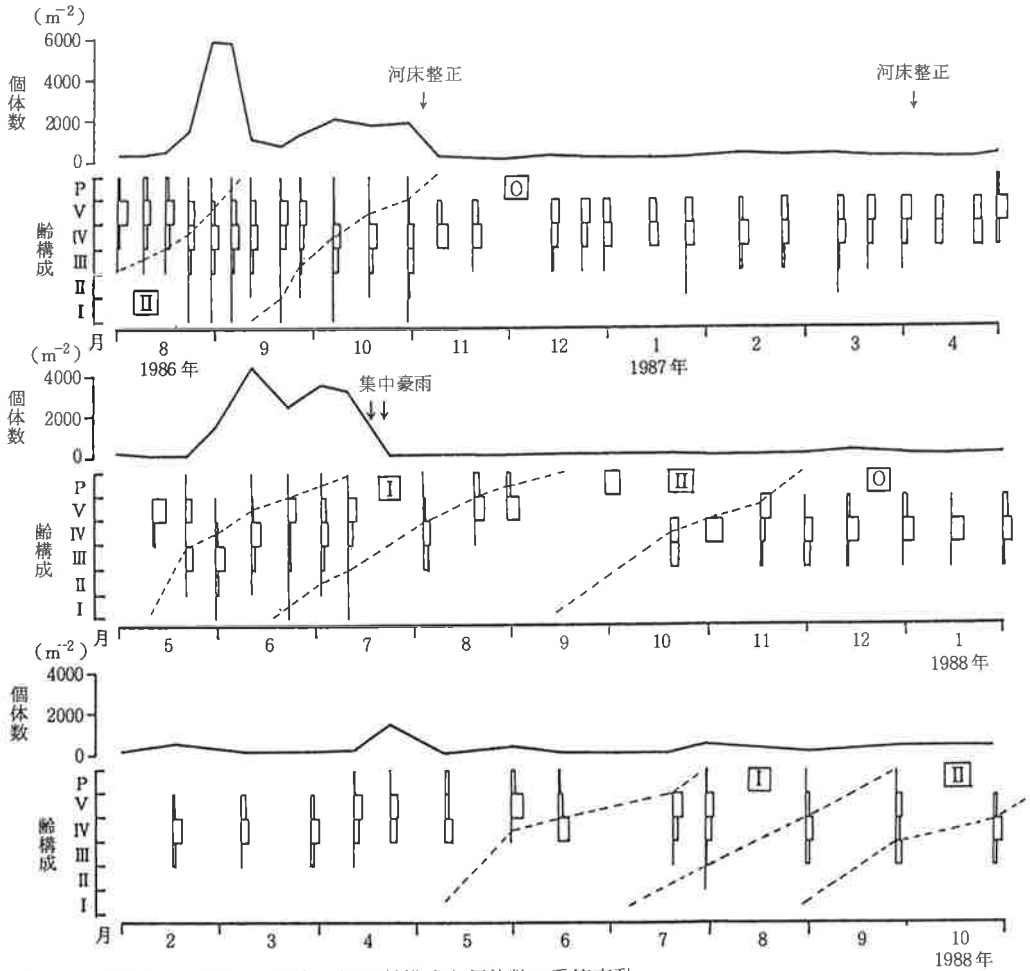


図２　コガタシマトビケラ幼虫・蛹の齢構成と個体数の季節変動

図中の棒グラフは齢期別幼虫と蛹の比率(%)を，折れ線グラフ（実線）は１㎡当りの幼虫個　　を，破線は世代間の推定境界を示す。Ⅰ～Ⅴは第１～５齢幼虫，Pは蛹，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲはそれぞれ第１・２・　　世代を示す。

年には6・7月の上旬にそれぞれピーク(6月11日に4,446匹，7月2日に3,524匹)がみられた。両年度のピーク後の激減はそれぞれブルドーザーによる河床整正作業(1986年11月1日)と集中豪雨(1987年7月14，19日)による増水によってもたらされた。1988年1～10月の平均個体数は260匹/㎡であった。

ついで幼虫の齢構成の推移をみると，5月下旬ごろから7月ごろにかけては第1世代の幼虫が発育し，蛹化した。ついで第2世代の幼虫が6月下旬ごろから9月にかけて発育・蛹化した。その後，9月中旬ごろからみられる幼虫は越冬世代のもので，水温の低下する11月中旬ごろには第3～5齢期にまで発育し，そのまま越冬した。そして翌年4月中ごろから再び発育を開始し，5月中・下旬に蛹化した。

幼虫頭幅値の世代間差異

世代ごとの各齢幼虫の頭幅値を比較したところ，第2世代幼虫の頭幅値は他の2世代のそれらに比べて第1齢期を除いたすべての齢期で小さく，第3～5齢期ではそれらのあいだに有意な差が認められた(表1)。また，第1齢幼虫の頭幅値は世代間で変わらなかったが，第2・3齢幼虫のそれらは越冬世代よりも第1世代の個体で明らかに大きく，それとは全く逆の関係が第4・5齢幼虫の頭幅値についてみられた。

幼虫の前腸内容物

幼虫の前腸内容物を調べたところ，いずれの世代・齢期の幼虫にも藻類とデトリタスとがみられ，維管束植物や動物質は全く認められなかった(表2)。また，第5齢幼虫の前腸内容物について世代間で比較すると，第1世代幼虫では他の世代のそれらよりも藻類構成比が高かったのに対して，第2および越冬世代の幼虫では逆にデトリタスの比率が著しく高かった。さらに，第1世代の幼虫では齢期が進むにつれて藻類の比率が増大することがわかった。

ついで他種の5齢期幼虫についても前腸内容物を調査した(表2)。その結果，本種と同じ属に属するエチゴシマトビケラと，オオシマトビケラ属のオオシマトビケラは本種と同様に藻類とデトリタスだけを摂食していた。他方，シマトビケラ属のナカハラ・ウルマー・ギフシマトビケラの各幼虫はそれらに加えて少量の動物質を摂食していた。特に後2種の内容物中にはトビケラ類幼虫のクチクラやキチン質片が含まれていた。ただし，微細片であったため摂食された種の同定はできなかった。

表1　コガタシマトビケラ幼虫の頭幅(μm，$\bar{x}\pm SD$)

世代	齢期 I	II	III	VI	V
第1世代	175	294.9±12.5 a[1)]	463.4±19.2 c	660.4±28.4 f	1021.3±42.6 i
第2世代	175	227.1±14.3 b	419.2±19.7 d	626.6±30.3 g	880.9±35.1 j
越冬世代	175	281.3±15.9 b	439.4±19.5 e	688.0±35.1 h	1044.5±66.6 k

1)　異符号間は95%水準で有意差あり(t検定)

表2　シマトビケラ類幼虫の前腸内容物

種名	齢期	内容物構成比(%) 藻類	動物質	維管束植物	デトリタス
コガタシマトビケラ					
第一世代	III	6.0	0	0	94.0
	IV	33.9	0	0	66.1
	V	71.1	0	0	28.9
第2世代	V	13.3	0	0	86.7
越冬世代	V	13.4	0	0	86.6
エチゴシマトビケラ	V	4.3	0	0	95.7
オオシマトビケラ	V	2.5	0	0	97.5
ナカハラシマトビケラ	V	0.7	0.4	0	98.9
ウルマーシマトビケラ	V	2.7	0.2	0	97.1
ギフシマトビケラ	V	1.6	0.2	0	98.2

成虫の寿命と蔵卵数，卵塊サイズ

短命な個体は雌雄ともに羽化後4日目に死亡したが，長命なものは2週間生存した(図3)。また，雌雄の平均生存日数はそれぞれ7.44日，8.38日で，雄成虫の方が長かった(χ^2検定，$P<0.01$)。

雌成虫は，羽化5日後になると，それまで青緑色であった腹部が黄色を呈し，腹腔内には成熟卵が充満した状態になる。それらを解剖した結果，処女雌当りの平均蔵卵数は280.4±27.3個($\bar{x}\pm SD$，以下同様；$n=10$)であった。

雌成虫は通常，石の側面部に卵(長径0.37±0.01㎜，短径0.18±0.01㎜)を卵塊として産みつける。石1個(長

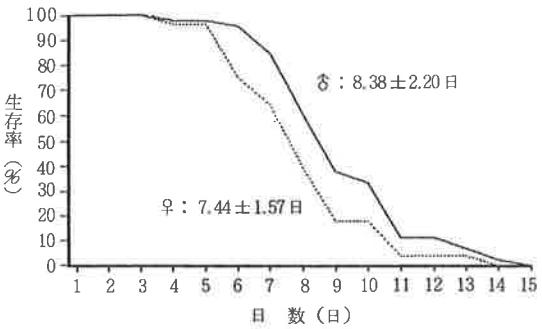


図3　コガタシマトビケラ成虫の生存日数
（$\bar{x}$±SD，n＝45♂♂，27♀♀）

径約8.8㎝）当りの卵塊数は1～4個で，1卵塊の大きさは長径が5.85±0.99㎜，短径が3.93±0.77㎜であった。また，卵塊当りの卵数は89～412個でばらつきが大きかったけれども，平均卵数は271.76±72.51個（n＝21）で，1処女雌卵巣内の蔵卵数とほぼ一致していた。

2. 群飛（スウォーム）

群飛虫の性比

採集した蛹を実験室に持ち帰り，羽化させた成虫の性比（♀：♂）は0.8：1.0であったのに対して，群飛時にスウィーピングした成虫のそれは0.1：1.0であった。なお，日中，階級1の飛翔個体の性比は0.4：1.0（3日間，5地点でスウィーピングした平均値）であった。

群飛行動と照度との関係

群飛調査日のうち，6月6日と7日，10月22日の観察結果を図4に示した。すなわち，6月6日は快晴であって，照度は16時16分の56,500ルクスから19時8分の日没にかけて漸次低下した。初群飛は18時3分（6,600ルクス）にみられたのち，消長を繰り返しながら18時56分（893ルクス）の群飛で終った。6月7日は曇天日で，16時34分の9,380ルクスから19時9分の日没にかけて照度は低下するものの，経時的照度較差は顕著でなかった。したがって，群飛は16時35分と17時42・46分，18時1分にそれぞれ6，3，2，3分間の短時間のものにすぎなかった。さらに，10月22日は晴れていたが，雲が多く，14時40分の47,000ルクスから日没（17時14分）までの間に数回，太陽の雲隠くれによって照度が大きく変化した。群飛は照度が急激に低下した15時3・32・50分に発生し，照度の復元とともに群飛を停止した。その後，群飛は16時14分から50分の間にも断続的に発生した。

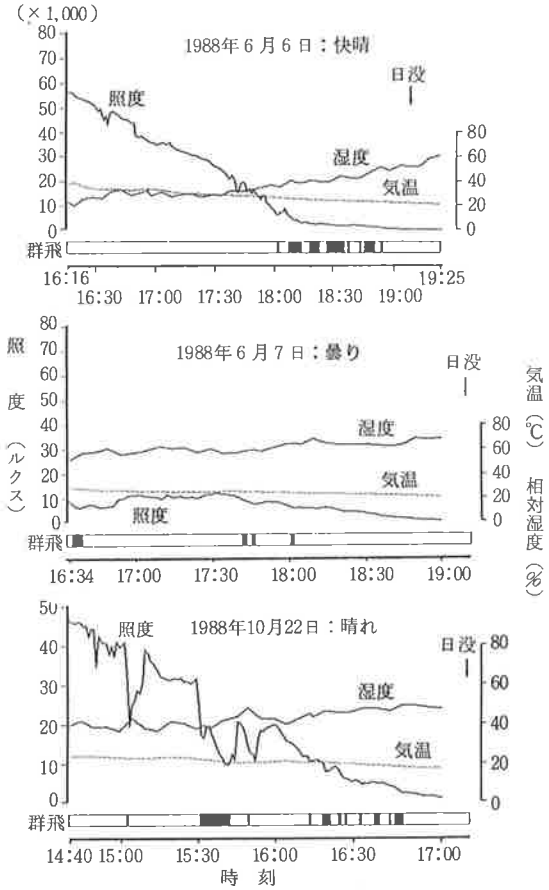


図4　コガタシマトビケラの群飛と照度・気温・相対湿度の時刻変化。群飛枠内の黒色部は群飛中の時間帯を示す

ついで成虫の飛翔または群飛行動と照度較差の関係を検討した。すなわち，6月と9・10月において川岸の樹木の枝や幹を包むような形で群飛が複数回観察されたの

表3　コガタシマトビケラ成虫の群飛の有無と平均照度較差（lux/分）

調査月	飛翔階級	照度（ルクス）範囲			
		500未満	500～1万	1万～2.5万	2.5万以上
6	群飛なし[1]	－24	－88 a[3]	－1,067	－1,035
	群飛中[2]	—	－219 b	－360	—
		2000未満	2000～2.5万	2.5万～4万	4万以上
9・10	群飛なし	－68	176 a[3]	－637	－1,173
	群飛中	—	－248 b	－14,000	—

1）階級0～1（0～9匹飛翔），2）階級2～3（10匹以上飛翔），
3）異符号間は，MANN-WHITNEY のU検定によって，99%水準で有意差あり。

表4　コガタシマトビケラ成虫の群飛と気温・相対湿度との関係

調査月	飛翔階級	気温（℃）		相対湿度（%）	
		平均（±SD）	最低～最高	平均（±SD）	最低～最高
6	0	29.8±3.9	18.4～38.9	44.1±10.9	20.3～69.4
	1	25.9±3.0	19.0～33.8	52.8± 9.3	31.9～69.5
	2	24.6±2.3	20.2～30.4	52.0± 8.8	35.8～68.1
	3	25.6±1.5	23.5～28.8	42.7± 4.7	38.3～53.8
9･10	0	24.6±3.3	18.6～32.5	42.9± 6.0	36.2～62.1
	1	22.7±3.7	17.5～32.6	50.7± 8.3	35.8～70.2
	2	23.3±3.9	18.3～32.6	47.9± 7.0	35.4～68.5
	3	25.4±3.5	20.5～31.1	49.7± 8.6	37.6～66.7

は，6月では500ルクス以上1万ルクス未満，9・10月では2,000ルクス以上25,000ルクス未満の照度範囲であって，この範囲内では照度較差が大きくなるにつれて階級値が大きくなる傾向がみられたが，有意差はなかった。しかし，群飛時の照度較差は，両調査月ともに，群飛していないときのそれに比べて明らかに大きかった（表3）。

群飛行動とその他の環境要因との関係

群飛行動と気温・湿度との関係をみると，群飛は気温が20～32℃，相対湿度が35～68%のときにみられた（表4）。群飛時の温湿度の範囲（最低～最高値）は群飛時以外のときよりも狭い傾向があったが，各階級と気温または湿度の平均値との間には一定の傾向がみられなかった。

群飛の発生時刻は季節によって早晩があり，6月では16時すぎから19時ごろまで，9・10月では15時から17時ごろまでであった（表5）。また，6月の観察では，当日の天候によって発生時刻が異なり，晴天日には日没の40分～1時間前から始まって同10～20分前に終了したのに対して，曇天日には日没の約2時間30分前から始まって同1～2時間前に終了した。

表5　コガタシマトビケラ成虫の群飛時刻

調査月日	天候	開始	終了	日没時刻
6月6日	晴れ	18：03	18：56	19：08
7日	くもり	16：35	18：03	19：09
10日	晴れ	18：10	18：51	19：10
13日	晴れ	18：32	18：47	19：12
20日	くもり	16：33	16：53	19：14
9月29日	晴れ	15：02	17：11	17：14
10月15日	晴れ	14：50	16：42	17：22
22日	晴れ	15：03	16：50	17：14

考　察

1. 生活史

賀茂川におけるコガタシマトビケラ成虫の発生時期については，津田（1942）は北大路橋付近で4月下旬～10月下旬とし，8月と10月に発生ピークがあると報告している。また，笹川と吉安（1986）は北大路橋下流の出町橋付近で6月上旬と8月（1983～84年）に，足立ら（1986）は同一場所での幼虫生息数の調査結果から，5月と8～9月（1984～85年）の2回の発生ピークをもち，いずれも本種は年2世代を経過すると推定している。

今回の北大路橋付近における幼虫発生量の調査結果では，本種は年3世代を経過することが明らかになった。そして，成虫の発生ピークは5月下旬～6月，8月中旬～9月，10月の3回と推定された。本調査で明らかなように，第1世代と第2世代の幼虫発育時期が重なる結果（1988年はとくに顕著であった），成虫の出現期間も重なることになる。したがって，従来の成虫発生個体数に基づく報告では8～10月の発生が1山とみなされ，年2回発生と解された，と考える。なお，幼虫の発育期間については，サンプリング結果から，第1・2世代は40～80日，越冬世代は約240日と推定された。水温が10℃以下となる12月上旬から3月下旬にかけて幼虫は発育を停止するものと考えられる。

MACKAY（1979）は，シマトビケラ属の種では夏期の高水温，豊富なえさ資源，老熟幼虫が小型であることが多世代発生につながる条件であるとした。貴船川で生活環を調べた谷田（1980）は，上流に生息するギフシマトビケラ幼虫は大型で年1回発生であるのに対して，中流に生息する中型幼虫のウルマーシマトビケラは年1また

は2世代を経過すると述べている。今回の調査地点は谷田のそれよりもずっと下流にあたり，水温は高く，えさは豊富な条件下にあるうえに，本種の幼虫は前2種に比べて一層小型であることから発生回数が多くなり，MACKAY の説に一致した。

本河川では毎年，春または秋にブルドーザーによる河床整正が行われている。それによってトビケラ類幼虫の死亡率が40%に達し，防除効果が評価されている（足立ら，1987）。本調査期間中には2回（それ以上は調査中のため中止）の整正によって幼虫個体数がやはり減少し，整正前の5%以下となった。しかし，残存した個体群に上流からの流下個体が加わって，次世代には回復した。したがって，本不快昆虫の発生を防除するために整正回数を増やすことが考えられるけれども，経費や漁業権（放流アユ）の関係で困難視されている。一方，集中豪雨による増水の後では，約1年間は個体数の回復がみられなかった。このことは，河床整正作業よりも増水ほん流による河床，ひいてはトビケラ類幼虫に対する影響が顕著であることがわかる。

河床整正や増水の影響を受けない場合，コガタシマトビケラの幼虫密度は3,000～6,000匹/㎡の高密度となり，幼虫の個体間干渉が考えられる。シマトビケラ科幼虫の頭部腹面には条線状の発音器官があり（WIGGINS, 1977），個体間の闘争に用いられたり，捕獲網や巣室に侵入する他個体に対する防御に役立っているといわれる（JANSSON と TUUHKKI, 1979）。本種の幼虫（第2～5齢）にも同じような発音器官が存在するので，高密度下では個体間あるいは異種個体間で機能しているものと推察されるが，今後の研究にまちたい。

シマトビケラ属をはじめとするトビケラ類の幼虫頭幅の成長には DYAR の法則があてはまり，齢ごとの成長定数(f)は約1.5であるという（MACKAY, 1978）。本種のf値は第1世代で1.55，第2世代で1.50，越冬世代では1.56となり，約1.5であった。ついで世代ごとの幼虫頭幅値の違いを生息環境から検討すると，水温の高い6月下旬から9月下旬にかけて発育する第2世代幼虫は，高温によって発育は促進されるけれども，頭幅値は第1あるいは越冬世代幼虫のそれらに比べて小さいのが特徴であった。これは夏季の高水温が幼虫の発育ひいては大きさに影響を及ぼしたと考えられるにしても，さらに詳細な検討が望まれる。

さらに幼虫の大きさの差異については食性との関連が考えられる。MCELHONE と DAVIS（1983）によると，シマトビケラの一種 *Hydropsyche simulans*（ROSS）の幼虫数は藻類の付着した大きな石に多く，コガタシマトビケラの一種 *Cheumatopsyche* sp. のそれはコケ類の付着した石に多いという。一般に，シマトビケラ類の幼虫は微小有機物などのデトリタスをろ過摂食している（WIGGINS, 1977）。しかし，デトリタスの食物としての栄養効率は低く，珪藻類は質，量ともに重要であるといわれる（谷田，1987）。本種幼虫の前腸内容物は，第1世代の4・5齢期では藻類が30～70%を占めたのに対して，他の世代の同齢期幼虫ではデトリタスの占める割合が高かった。頭幅値の最も小さかった第2世代の幼虫では藻類の比率が最も低かったことから，幼虫の大きさには食性との関連が示唆される。今後，幼虫の大きさの季節的変化については，藻類の発生消長と幼虫の成長との関係をはじめとして，生息密度や生息微環境などを合わせて詳しい検討が必要であると考える。なお，谷田(1987)によれば分布が源流部に限られるシロフツヤトビケラ *Parapsyche maculata*（ULMER）幼虫は肉食性で，分布域の広いウルマーシマトビケラ幼虫は雑食性であるという。今回の調査でもウルマーのほかナカハラ・ギフシマトビケラの幼虫はいずれも雑食性であることが確かめられた。しかし，コガタおよびエチゴシマトビケラ，オオシマトビケラの幼虫は動物質を摂取しないことがわかった。

処女雌成虫の蔵卵数と1卵塊中の卵数とが一致することから，雌成虫が産卵のために水中に入るのは1回だけであると推察される。そして，産卵時には速い水流域を避けて，瀬にある石礫の側面に産卵することによって，ふ化幼虫が流されることなく石礫の間隙で生存しやすいようにしているものと思われる。同じような産卵習性は，コガタシマトビケラの一種 *Cheumatopsyche speciosa* BANKS などのアクリル半球体（水中に設置）に対する産卵実験結果でもみられ（DEUTSCH, 1984），いずれも瀬の部分に生息する種の速い流速に対する適応であると考える。

2. 成虫群飛の行動学的意義

トビケラ類の群飛と環境要因との関係については，森と松谷（1953）が止水性トビケラ類成虫の群飛は種によって発生時刻が異なり，主として照度と時刻の複合要因によって決定されるほか，気温，輻射熱などの要因も関与することを報告した。西村（1987）は，ヒゲナガカワ

トビケラ*Stenopsyche marmorata* NAVAS の成虫は朝夕（日の出前および日没後50分ごろから）の2回，比較的狭い空間をS字状に上下左右に往復して飛びつづけるときの照度は400ルクス以下，気温は10℃以上，風力3以下であったという。また，群飛集団は多数の雄と少数の雌個体によって構成され，夕刻の群飛中には交尾個体がみられるし，それ以降の時間帯に交尾時刻が同調しているという。

コガタシマトビケラの群飛は夕刻にのみ見られ，早朝には見られないことが知られている（笹川・吉安，1986）。今回の調査結果では，本種の群飛は一定の照度範囲（季節によって異なる），気温，湿度，日没前時間，天候などの条件下で発生し，負の照度較差がその引き金となり（笹川・吉安，1987–'88），正のそれは抑制要因であった。6月の群飛が9・10月のそれに比べて発生時刻が遅く，照度範囲の下限値が低かったのは遅い日没時刻や高気温による抑制を受けたことによると考える。1988年5月19日，宇治川の宇治橋周辺でナカハラシマトビケラの群飛を観察したところ，17時26分(日没91分前)，照度9,500ルクスのときに始まり，漸次照度が低下する過程で消長を繰り返し，400以上1万ルクス未満の照度範囲で階級2・3の群飛がみられた。また，この照度範囲内での照度較差と群飛行動との関係についてはコガタシマトビケラのそれと同様であった。

群飛集団は雄のみで形成され，群飛中に交尾するペアは全く見られなかった。ナカハラシマトビケラの場合も同じであった。群飛集団の性比調査で少数の雌がみられたのは，木の枝や葉裏に止まっていた個体がスウィーピング時にたまたま採られたもので，実際に飛翔していた個体ではないと考える。本種を含むシマトビケラ類の雌成虫は夜間，顕著な走光性を示すことから（津田・川合，1956），本種の夕刻から夜間にかけての飛翔行動には雌雄でかなりの違いがあり，夕刻（日没前まで）には雄が飛翔し，夜間には雌が飛翔する行動パターンをとっていると思われる。また，成虫の羽化は夕刻から夜間（16時から21時までに全羽化虫数の71.4%を占める）にかけてみられることから，夕刻の群飛個体は羽化後1日以上経過した雄であることが推察される。

これらのことから，本種の群飛行動の意義を以下のように考える。交尾はいつでも可能であるとはいえ，夜間に雌成虫が川の上流に向かって産卵飛翔するため，それ以前に雄成虫は交尾活性を高めて雌の移動前にできるだけ雌との遭遇機会を増やす必要がある。また，雌は水中で1回産卵するだけであるから，雄は自分の遺伝子を伝えるためには雌が産卵に向かう前に交尾を終え，適応度を高めるためには夕刻が最後の機会となる。したがって，雄たちは夕刻に交尾活性を高めるため，あるいは高まった結果が群飛行動として現われ，双翅目昆虫（DOWNES, 1969；GIBSON，1985のアカイエカ；KON，1984のセスジユスリカ）やヒゲナガカワトビケラにみられるような直接的な交尾前行動ではない。

謝　辞

本調査に当たって許可と便宜をはかっていただいた京都府土木事務所技術第一課の杉山紀征氏，水口　剛氏に厚くお礼を申し上げる。また，調査・採集に協力された専攻生池田　良，井上武司両君，コメントをいただいた査読者に深謝する。

引用文献

足立雅彦・森　隆治・立岡　修・松野喜六・笹川満廣・吉安　裕（1985）河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究，II　幼虫及び成虫の生態．昭和58年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書 166–172．京都府公害対策技術者会議．

足立雅彦・上田彬博・鱚奈順子・松野喜六（1986）河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究，コガタシマトビケラの生態 (2) 幼虫．昭和59年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書　183–196．

足立雅彦・上田彬博・鱚奈順子・松野喜六（1987）河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究，コガタシマトビケラの生態 (3) 幼虫．昭和60年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書　161 – 181．

足立雅彦・上田彬博・鱚奈順子・中嶋智子・松野喜六（1988）河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究．コガタシマトビケラ *Cheumatopsyche brevilineata* IWATA の生態 (4) 幼虫．昭和61年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書　61 – 74．

CUMMINS, K. W. (1973) Trophic relation of aquatic insects. *Ann. Rev. Entomol.* 18：183–206.

DEUTSCH, W. G. (1984) Oviposition of Hydro-

psychidae (Trichoptera) in a large river. *Can. J. Zool.* **62**：1988–1994.

DOWNES, J. A. (1969) The swarming and mating flight of Diptera. *Ann. Rev. Entomol.* **14**：271–298.

GIBSON, G. (1985) Swarming behaviour of the mosquito, *Culex pipiens quinquefasciatus*：a quantitative analysis. *Physiol. Ent.* **10**：283–296.

JANSSON, A. and V. TUULIKKI (1979) Significance of the stridulation in larval Hydropsychidae (Trichoptera). *Behaviuor* **71**：167–186.

木村ハル（1957）京都加茂川の汚濁と生物相について．日生態会誌 **7**：30–33.

KON, M. (1984) Swarming and mating of *Chironomus yoshimatsui* (Diptera：Chironomidae)：Seasonal change in the timing of swarming and mating. *J. Ethol.* **2**：37–45.

MACKAY, R. J. (1978) Larval identification and instar association in some species of *Hydropsyche* and *Cheumatopsyche* (Trichoptera：Hydropsychidae). *Ann. Ent. Soc. Am.* **71**：499–509.

MACKAY (1979) Life history patterns of some species of *Hydropsyche* (Trichoptera：Hydropsychidae) in southern Ontario. *Can. J. Zool.* **57**：963–975.

MCELHONE, M. J. and R. W. DAVIS (1983) The influence of rock surface area on the microdistribution and sampling of attached riffle dwelling Trichoptera in Hartley Creek, Alberta. *Can. J. Zool.* **61**：2300–2304.

森 主一・松谷幸二（1953）トビケラ類の日週行動とすみわけ．動雑 **62**：29–36.

西村 登（1987）ヒゲナガカワトビケラ．日本の昆虫９．文一総合出版，東京．144pp.

笹川満廣・吉安 裕（1986）河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究，Ⅱ コガタシマトビケラの生態 (2) 成虫．昭和59年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書 197–200.

笹川満廣・吉安 裕（1987）河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究，コガタシマトビケラの生態 (3) 成虫．昭和60年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書 182–189.

笹川満廣・吉安 裕（1988）河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究，コガタシマトビケラの生態 (4) 成虫．昭和61年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書 75–81.

佐々木 司・吉本太郎・渡辺 修・柴田克己（1985）河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究，Ⅰ アンケート調査．昭和58年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書 161–165.

谷田一三（1980）貴船川におけるシマトビケラ属３種の生活史と分布，とくに生活環の変異と密度と幼虫の成長との関連について．陸水雑 **41**：95–111.

谷田一三（1987）シマトビケラ類幼虫の摂食生態と生態的分化．木元新作・武田博清（編）：日本の昆虫群集―すみわけと多様性をめぐって．124–132．東海大学出版会，東京．

津田松苗（1942）鴨川北大路橋に於ける毛翅目成虫の周年採集の成績．動雑 **54**：262–267.

津田松苗・川合禎次（1956）宇治南郷発電所取水口における誘蛾灯に飛来するトビケラについての考察．日生態会誌 **6**：73–75

WIGGINS, G. B. (1977) Larvae of the North American caddis-fly genera (Trichoptera). University Press of Toronto, Toronto. 401pp.

Jpn.J.Environ.Entomol.Zool. 4(1) : 11−16 (1992)

Pathogenicity of an Entomogenous Fungus, *Conidiobolus coronatus* TYRRELL and MACLEOD, to *Coptotermes formosanus* SHILAKI

Tsuyoshi YOSHIMURA[1], Kunio TSUNODA[1], Munezoh TAKAHASHI[1] and Yoshio KATSUDA[2]

1) *Wood Research Institute, Kyoto University, Uji, Kyoto 611, Japan.*

2) *Research Laboratory, Dainihon Jochugiku Co.Ltd., Toyonaka, Osaka 561, Japan*

(Received: August 6. 1991)

イエシロアリに対する昆虫寄生菌*Conidiobolus coronatus*の病原性 吉村 剛[1]・角田邦夫[1]・高橋旨象[1]・勝田純郎[2] 1) 京都大学木質科学研究所、2) 大日本除虫菊株式会社中央研究所)

イエシロアリ職蟻から分離した昆虫寄生菌の一種である *Conidiobolus coronatus* TYRRELL & MACLEOD の病原性を数種の室内試験から検討した。*C. coronatus*生育倒置培地から胞子を落下させた強制暴露試験における死中率100%到達日数は、3時間暴露で9日、6時間および24時間暴露で1日であった。顕微鏡観察によると、3時間暴露の場合2-3個の分生子がシロアリ体表に付着しているだけであったが、100%の死中率は *C. coronatus*の高い病原性を裏付けるものであった。*C. coronatus*感染死亡職蟻1頭を用いて伝染性試験を行った結果、健全職蟻20頭投入区および50頭投入区でそれぞれ4日後および5日後に全個体が死亡した事から、*C. coronatus*が高い伝染性を有している事が明らかになった。イエシロアリに対する *C. coronatus*の高い病原性と伝染性は微生物によるシロアリ防除という観点から非常に興味深いものである。

An entomogenous fungus, *Conidiobolus coronatus* TYRRELL and MACLEOD, was tested for its pathogenicity to a termite, *Coptotermes formosanus* SHIRAKI in some laboratory tests. Exposure of the termite workers to the fungus in inverted agar medium for 3 hr caused 100% mortality of workers within 9 days, although only two or three conidia were attached to the surface of each termite body after fungal exposure. All the workers died within only one day after fungal exposure for 6 or 24 hr. The results well demonstrated that *C. coronatus* had a very high potential to kill the termites in a short time. In contagiousness tests where a dead, *C. coronatus*-infected worker was placed among 20 or 50 sound workers, their mortality reached 100% within 4 or 5 days, respectively. The use of pathogenic and contagious *C. coronatus* in eradicating xylophagous subterranean termites such as *C. formosanus* is worth considering.

Key Words: Biological control, Termite, Entomogenous fungus, *Conidiobolus coronatus, Coptotermes formosanus,*

Introduction

Coptotermes formosanus SHIRAKI is a most dangerous pest for wooden constructions in the southern parts of Japan and United States. In these areas various chemicals (such as organophosphorus and carbamate insecticides and synthetic pyrethroids) have been used for preventive and remedial treatments to protect timber from termite attacks. Since the use of chemicals around our housing results in detrimental to environment in some cases, it seems urgent to develop a safer chemical or non-chemical control method based on a new concept.

Biological control of termites is the most interesting alternative method. THAXTER (1920) and TATE (1927, 1928) isolated parasitic fungi from infected termites and described them as *Termitaria* sp. HENDEE (1933) who studied *Kalotermes minor, Reticulitermes hesperus,* and *Zootermopsis angusticollis,* isolated 33 genera and 20 unidentified fungi. Unfortunately their works were only concerned with the isolation and identification of the parasitic fungi. After the 1960's many workers started investigating the pathogenicity of fungi to termites, using *Aspergillus flavus* LINK (BEAL and KAIS, 1962 ; SANNASI, 1969), *Absidia coerulea* BAINIER (LUND and ENGELHARDT, 1962), *Beauveria bassiana* (BALSAMO) VUILL. (BAO and YENDOL, 1971; LAI *et al.*, 1982), *Entomophthora* spp. (KREJZOVÁ, 1971) and *Metarhizium anisopliae* (LAI *et al.*, 1982). Termiticidal action was evidently observed for all the test fungi.

SMYTH and COPPEL (1966) isolated 7 fungi from *Reticulitermes flavipes* (KOLLAR) and obtained 100% mortality in groups of 20 termites within 2 days after five minutes' contact with fungus growing medium for some *Penicillium* spp. YENDOL and PASCHKE (1965) investigated the pathogenicity of *Entomophthora coronata* (CONSTANTIN) KEVORKIAN (Syn. *C. coronatus*) and *Entomophthora virulenta* HALL and DUNN to *Reticulitermes flavipes* (KOLLAR). They observed that the mortality reached over 90% after 84 hr in the case of *E. coronata.*

In Hawaii *C. formosanus* often attacks sugar cane as well as wooden structures. In the sugar cane fields the termites are most active under the ground, and the soil environment may have a significant effect on their activity. FUJII *et al.* (1980) incorporated organic materials such as soybean meal into the soil to increase the microbial activity, and succeeded in reducing the activity of termites under laboratory conditions. Similarly, KO *et al.*(1982) who tested the pathogenicity of five fungi isolated from soils of the areas where termites did not seem to exist concluded that *Entomophthora coronata* was the most harmful to *C. formosanus.*

Recently, SUZUKI (1991) investigated the pathogenicity of 17 mold fungi and 7 basidiomycetes to *C. formosanus* and *Reticulitermes speratus* KOLBE, and obtained a distinct termiticidal action for *Paecilomycetes fumosoroseus, Metarhizium anisopliae,* and *Beauveria bassiana.* Moreover, it has been generally pointed out that the pathogenicity would be strongly varied with strains and the kinds of isolated hosts.

In this paper, the pathogenesis of *Conidiobolus coronatus* TYRRELL and MACLEOD, which was isolated from a laboratory colony of *C. formosanus,* will be discussed on the basis of the results of laboratory tests.

Materials and Methods

Isolation and Identification of C. coronatus

The *C. coronatus* culture used in this series of experiments was isolated from dead workers of *C. formosanus* maintained in the laboratory. Workers infected with the fungus were placed on nutrient agar medium for two days at 26℃,

and the axenic portion was taken as an inoculum to get a pure culture. Finally two pure strains were obtained after three consecutive reinoculations. A strain which had pathogenicity to *C. formosanus* in the preliminary experiments was identified as *C. coronatus* from its shape and size of conidia, way of growing, and formation of villose spores.

Termites

Termites used in these investigations were externally undifferentiated mature larvae (= workers) of *C. formosanus* which had been maintained in the laboratory at 28℃.

Pathogenicity Tests

Pathogenicity tests were conducted by forced exposure to fungal colonies as described earlier (YENDOL and PASCHKE, 1965). The test apparatus is shown in Fig. 1. Actively growing fungal

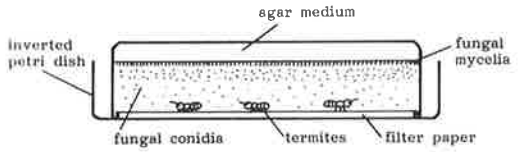


Fig. 1 The apparatus of fungal inoculation to *Coptotermes formosanus*. Conidia of *Conidiobolus coronatus* are falling over termites from fungus-growing medium.

colonies on the nutrient agar medium in petri dishes (90×20㎜) were inverted and a filter paper (80㎜ diameter, damp with distilled water) was placed on the inside of the lid. Twenty workers were introduced onto the filter paper so that the workers were forcedly exposed to the falling fungal conidia. Following 1, 3, 6, and 24 hr exposure at 28℃, the workers were transferred into another petri dish (60×15㎜) containing a damp filter paper as a food source. The degree of attachment of fungal conidia on the termites' bodies was examined under binocular microscope after the desired length of incubation at 28℃. Mortality of the inoculated workers was recorded at 24 hr intervals. Three replicates were prepared for each test condition and controls were tested in the same manner using uninoculated medium.

Contagiousness Tests

A fungus-infected and dead worker was introduced into a petri dish [60×15㎜, with slightly water-moistened sandy loam at the bottom (3㎜)] together with 20, 50, or 100 sound workers and incubated at 28℃. Five replicates were set in this test, and mortality of the workers was recorded daily.

Results and Discussion

Diameter of *C. coronatus* conidia ranged from 15 to 40 μm (Fig. 2). This fungus proved to

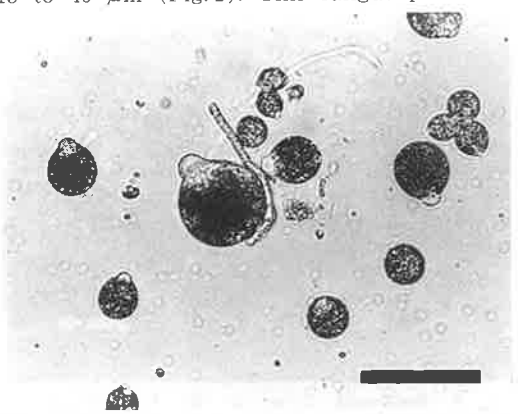


Fig. 2 Conidia of *Conidiobolus coronatus* growing on the malt agar medium. Scale bar is 50 μm.

grow very rapidly and easily on the malt agar medium. The cultures had an even floury surface, yellowish white in color. Figure 3 shows the workers of *C. formosanus* infected with the fungus. These individuals were first exposed to the fungal culture for 6 hr and then incubated for 48 hr at the time of photographing. Preceding death, the fungus-infected termites had uncoordinated movements, causing complete immobility in a short time. After death conidiophores grew out from the termites' bodies and eventually bore conidia (Fig. 4). YENDOL and PASCHKE (1965) stated that *E. coronata* (Syn. *C. coronatus*) penetrated into living workers of *R.*

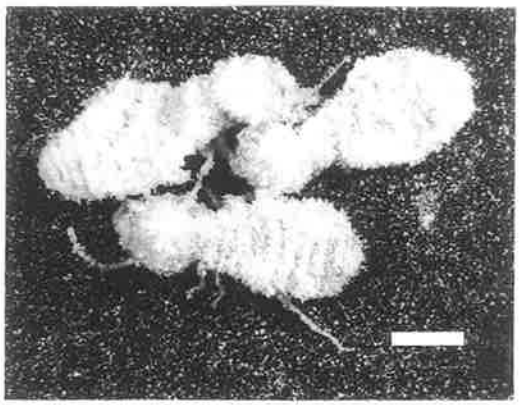


Fig. 3 Workers of *Coptotermes formosanus* infected with *Conidiobolus coronatus* after 48-hr incubation following 6 hr fungal exposure. Scale bar is 1 ㎜.

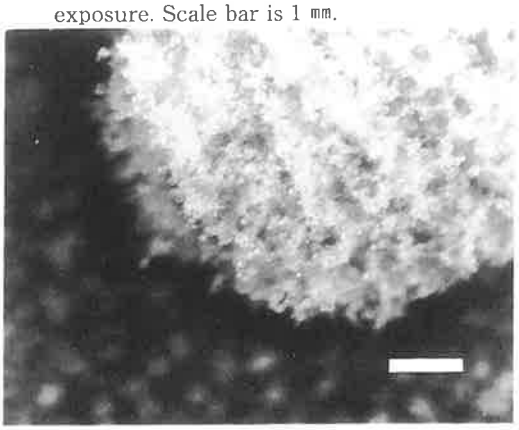


Fig. 4 Enlarged view of the individuals on Fig. 3, showing outward growth of conidiophores. Scale bar is 0.2 ㎜.

flavipes within 12 hr after exposure to the fungus and the invading hyphae attacked the fat body and musculature first, leading to a destruction of the remaining tissue as early as 32 hr after exposure. Our observations under a binocular microscope experiment also showed similar pathogenic phenomena.

The results of pathogenicity tests are summarized in Fig. 5. All workers incubated with *C. coronatus* for 3 hr or longer finally died and the longer incubation periods caused the earlier 100% mortality. Incubations for 6 and 24 hr led to the 100% death of workers within 24 hr, while it took 9 days in the case of 3 hr

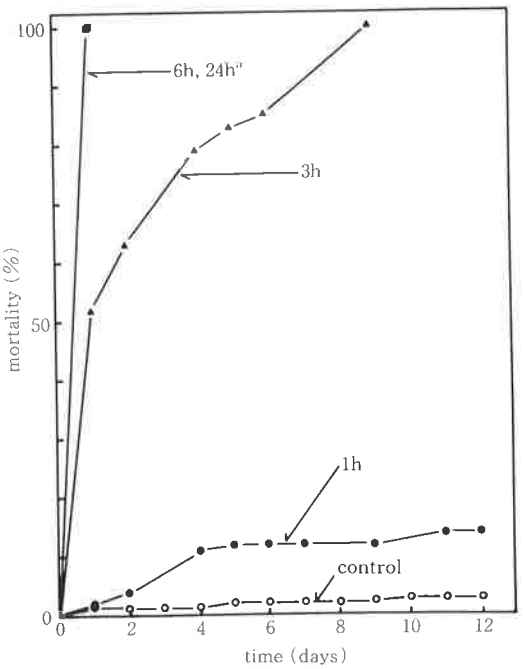


Fig. 5 Mortality of the workers of *Coptotermes formosanus* in pathogenicity tests. a: The length of fungal exposure using inverted culture medium (Fig. 1).

incubation. One-hour incubation caused 14.0% mortality after 12 days and the mortality of control termites was less than 3% at the end of the test. Microscopic observation showed that only two or three conidia were attached to the body surface of termites after 3 hr exposure. YENDOL and PASCHKE (1965) incubated the *R. flavipes* workers with *E. coronata* for 12 hr and obtained 50% and 97% mortality after 36 and 84 hr, respectively. KO *et al.* (1982) who also investigated the pathogenicity of *E. coronata* to *C. formosanus* reported that the workers fed on fungus-growing agar medium died within 6 days. Comparison of these results would suggest that our strain of *C. coronatus* is highly pathogenic to termites.

As shown in Fig. 6, a single fungus-infected worker could induce the total death of 20 or 50 sound workers if they were forced to be near the individual in a small chamber. The added sound

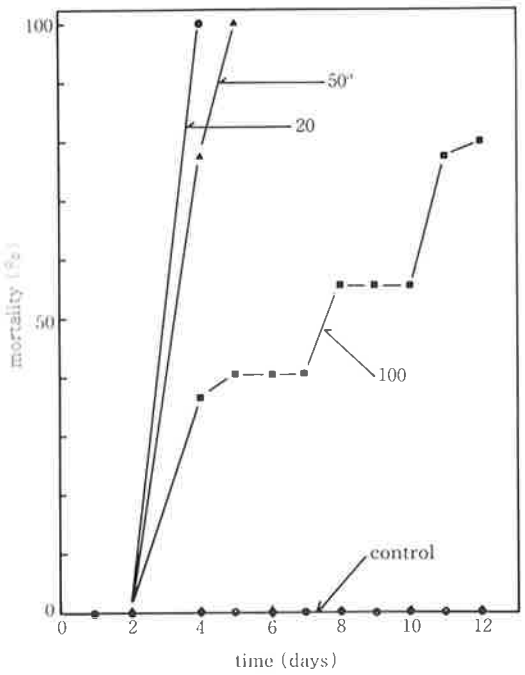


Fig. 6 Mortality of the workers of *Coptotermes formosanus* in contagiousness ness tests. a: Number of sound workers tested with an infected and dead worker.

workers did not appear to avoid the infected worker and occasionally came in contact with it. As a result, the added workers died within 4-5 days due to infection with *C. coronatus*. In the case of 100 workers added, four of five replicates showed 100% mortality after 12 days. Controls did not have any deaths during the experiment.

The results of these experiments strongly supported the idea that more than 50 individuals were killed by a single individual infected with *C. coronatus*. The potential, therefore, could lead to an epidemic disease in termite groups even on a large scale.

In Japan, major subterranean termites harmful to wooden structures, such as *C. formosanus* and *R. speratus*, live in soil or damp woody materials to establish colonies, and the habitats are ordinarily suitable for the growth of fungi. Therefore, high pathogenicity and contagiousness of *C. coronatus* seems to be very interesting in terms of biological control of termites.

However, it is often pointed out that the results of laboratory tests are not directly related to those of the field applications. Early experience with nematodes to control termite could be a typical example. Approximately 3,000 termites were completely wiped out by the introduction of nematodes into a two-quart jar, while no effect was observed in protecting pine boards in field situations (MIX, 1985, 1986). On the other hand, Entomophthorales such as *C. coronatus* often causes drastic reduction of the number of individuals on the occasion of an insect outbreak and termite colonies seems to be the same situation that numerous populations are gathering in a limited area. Thus it seems that the termiticidal action of *C. coronatus* in the laboratory conditions discussed above could connect with the field application if a certain number of fungal conidia are introduced into termite colonies, for example, restoring the force-exposed ones to their original colonies.

In addition, much attention should be paid to phycomycosis of horse (EMMONS *et al.*, 1961; BRIDGES *et al.*, 1962) and man (BRAS *et al.*, 1965) caused by *C. coronatus* in tropical regions. BRAS *et al.* (1965) reported a swelling of the nose with gradually increasing nasal obstruction induced by infection of *C. coronatus*. As mentioned above, the responses of fungi to the environmental conditions such as temperature, humidity, and especially the preference to the host animals would be individually varied with strains, the kinds of isolated hosts and isolated areas. Consequently, further detailed experiments are indispensable in relation to the mammalian pathogenicity of the strain used in these investigations for promoting the practical application.

Acknowledgements

We express our gratitude to Dr. Mitsuaki SHIMAZU of Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuda, Ibaraki Pref. for his careful identification of fungal isolates and helpful discussions on this issue.

References

BAO, Li-Li and W. G. YENDOL (1971) Infection of the eastern subterranean termite, *Reticulitermes flavipes* (KOLLAR) with the fungus *Beauveria bassiana* (BALSAMO) VUILL. *Entomophaga* **16**(3) : 343-352.

BEAL, R. H. and A. G. KAIS (1962) Apparent infection of subterranean termites by *Aspergillus flavus* LINK. *J. Insect.Pathol.* **4** : 488-489.

BRAS, G., C. C. GORDON, C. W. EMMONS, K. M. PRENDEGAST and M. SUGAR (1965) A case of phycomycosis observed in Jamaica ; infection with *Entomophthora coronata. Am. J. Trop. Med. Hyg.* **14** : 141-145.

BRIDGES. C. H., W. M. ROMANE and C. W. EMMONS (1962) Phycomycosis of horses caused by *Entomophthora coronata. J. Am. Vet. M. Assoc.* **140** : 673-677.

EMMONS, C. W. and C. H. BRIDGAS (1961) *Entomophthora coronata,* the etiological agent of a phycomycosis of horses. *Mycologia* **53** : 307-312.

FUJII, J. K., W. H. KO and K. M. KANEGAWA (1980) Effect of organic amendment on longevity of *Coptotermes formosanus* in soil. *Rev. Écol. Biol. Sol.* **17**(3) : 353-357.

HENDEE, E. C. (1933) The association of the termites, *Kalotermes minor, Reticulitermes hesperus,* and *Zootermopsis angusticollis* with fungi. *Univ. Calif. Publ. Zool.* **39** : 111-134.

KO, W. H., J. K. FUJII and K. M. KANEGAWA (1982) The nature of soils pernicious to *Coptotermes formosanus. J. Invert. Pahtol.* **39** (1) : 38-40.

KREJZOVÁ, R. (1971) Infektionsversuche mit einigen *Entomopthora*-arten bei den termiten *Coptotermes formosauns* (SHIRAKI) und *Reticulitermes lucifugus* (ROSSI). *Entomophaga* **16**(2) : 221-231.

LAI, P. Y., M. TAMASHIRO and J. K. FUJII (1982) Pathogenicity of six strains of entomogenous fungi to *Coptotermes formosanns. J. Invert. Pathol.* **39** : 1-5.

LUND, A. E. and N. T. ENGELHARDT (1962) Subterranean termites and *Absidia coerulea* BAINIER (Mucorales). *J. Insect Pathol.* **4** : 131-132.

MIX, J. (1985) Beal's research shows nematodes don't control subterranean termites. *Pest Control* **53**(3) : 22-23.

MIX, J. (1986) Nematodes flunk again. *Pest control* **54**(3) : 48, 54pp.

SANNASI, A. (1969) Studies of an insect mycosis II. Biochemical changes in the blood of the queen of the moundbuilding termite *Odontotermes obesus* accompanying fungal infection. *J. Invert. Pathol.* **13** : 11-14.

SMYTH, R. V. and H. C. COPPEL (1966) Pathogenicity of externally occurring fungi to *Reticulitermes flavipes. J. Invert. Pathol.* **8** : 266-267.

SUZUKI, K. (1991) Laboratory trials of biological control agents against subterranean termites. *Internat. Res. Group on Wood Pres.* Doc. No. IRG/WP/1475.

TATE, P. (1927) On *Ectomyces calotermi* N. G., N. SP., an ascomycete parasitic on *Calotermes samoanus* HOLMGREN (Isoptera, Protermitidae). *Parasitology* **19**(1) : 54-60.

TATE, P. (1928) Notes on the genera *Ectomyces* and *Termitaria,* fungi parasitic on termites. *Parasitology* **20** : 77-78.

THAXTER, R. (1920) Second note on certain peculiar fungus-parasites of living insects. *Bot. Gaz.* **69** : 1-27.

YENDOL, W. G. and J. D. PASCHKE (1965) Pathology of an *Entomophthora* infection in the eastern subterranean termite *Reticulitemes flavipes* (KOLLAR). *J. Invert. Pathol.* **7** : 414-422.

環動昆
第4巻　第1号：17–23（1992）

シラフルオフェン(Hoe-498)の衣料害虫に対する防虫効果*

南手　良裕・藤江　真子・林　　文夫・勝田　純郎

大日本除虫菊㈱中央研究所

（受理：1991年11月26日）

Anti-Feeding Efficacy of Silafluofen (Hoe-498) against Textile Pests*. Yoshihiro MINAMITE, Mako FUJIE, Fumio HAYASHI, and Yoshio KATSUDA (Research Laboratory, Dainihon Jochugiku Co. Ltd., Toyonaka, Osaka 561, Japan) *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 4：17-23 (1992)

Silafluofen, an insecticide containing silicon, has been developed for use in agrochemicals and termiticides due to its high insecticidal activity, low mammalian and fish toxicity, and high chemical stability. In the course of development, we have found favorable properties of silafluofen for use as a moth-proofing agent. These properties are reported here. Wool clothes treated with silafluofen showed higher anti-feeding efficacy against casemakig clothes moths, *Tinea translucens* MEYRICK and black carpet beetles, *Attagenus unicolor* BRAHM, than wool clothes treated with a pyrethroid-type moth-proofing agent (a combination of permethrin and a hexahydropyrimidine derivative). Since silafluofen did not give activity superior to permethrin when topically applied, the high efficacy shown above is considered to result from silafluofen's stomach-poison activity against these insects. In practical tests, some test formulations were applied to wool clothes in the dye bath. Silafluofen was found to be more stable than permethrin in the bath solutions. Also, the silafluofen-based formulations displayed a high adsorption rate of the agent to wool clothes during the treatments. Because of the above-mentioned favorable properties, the low mammalian toxicity, and good persistency, silafluofen is a promising alternative to conventional moth-proofing agentsy.

Key words ; Silafluofen, Moth-proofingyy, Anti-feeding

シラフルオフェン（ISO申請中，コード名Hoe-498）は，1984年，勝田らによって発明されたケイ素原子含有化合物で，高い殺虫活性，人畜に対する安全性，低魚毒性および安定性を兼備し，農業分野ならびにシロアリ防除分野への開発が進められている。著者らは，これらの優れた特長を生かした他分野への適用を進める過程で，繊維処理剤としても高い

* 本稿は，本学会第2回大会における一般講演の概要でその一部は日本農薬学会第14回大会（南手ら，1989）で発表した。

評価を得たのでその結果を報告する。シラフルオフェンで処理した羊毛布は，イガやヒメカツオブシムシの衣料害虫に対し，市販のピレスロイド系繊維処理剤（ペルメトリンとヘキサヒドロピリミジン誘導体の混合物）に比べて同等以上の高い食害防止効力を示した。シラフルオフェンの虫体表面に対する微量滴下法での効力はペルメトリンより低かったことから，高い食害防止効力はこの化合物の有する食毒作用が反映しているものと考えられた。また，熱水浴液中で各製剤の羊毛布への吸着処理を行ったところ，シラフルオフェンはペルメトリンに比べて浴液中での安定性にすぐれ，羊毛布への吸着効率が高いことも明らかとなった。シラフルオフェンは，安全性が非常に高く，残効性にもすぐれているので，適切な繊維処理剤が望まれている現在，その実用性は極めて高いと考えられる。

緒　言

繊維，特に羊毛を加害する害虫は数多く知られ，これらによる被害が問題となっている。従来，その対策としては昇華性または蒸散性防虫剤（パラジクロルベンゼン，ナフタレン，樟脳，エムペントリン，DDVPなど）をタンス等に収納する方法と，繊維に直接防虫剤を処理する2つの方法が用いられてきた。

しかしながら，昇華性または蒸散性防虫剤の使用は，繊維，衣類の収納空間を介してその防虫効果を発揮するため，収納空間の密閉度や，防虫剤の設置場所など使用条件によって防虫効果が変動しやすく，加えて通常半年～1年毎に防虫剤を取り替えなければならない不便さを有している。一方，後者の防虫加工方法は，繊維全体に薬剤を施用するため前者の方法よりも有効な手段といえるが，有効成分の選定にあたっては次の条件，すなわち

① 防虫効力が高く残効性にすぐれること，
② 無色，無臭であり，処理衣類を着用しても人体に影響を及ぼさないこと，
③ 洗濯やクリーニングなどで防虫効果が失われないこと，
④ 繊維製品の色相，風合，感触などを阻害しないこと，
⑤ 加工法が簡単で安価なこと，

を満足させなければならないという厳しい制約がある。例えば，従来防虫加工剤として広く使用されてきたディルドリンは残留毒性のため昭和46年使用禁止となり，替わって，ミチンFF，オイランU33，ミチンLPなどが登場したが安全性の点で問題が多い。更に最近では，ミチンAL，オイランSP（WIMBUSH，1990）など，ピレスロイド剤を配合した防虫剤も用いられるようになったが，前記条件を十分に満足しているとは言いがたく，新しい防虫加工剤の開発が切望されてきた。

著者らは，シラフルオフェンの特性が防虫加工剤の有効成分として極めて有効であることを見い出すとともに各種性能試験で高い評価を得たのでここに報告する。

実験方法

1. 材　料

(1) 供試化合物

シラフルオフェン｛（4－エトキシフェニル）〔3－（4フルオロ－3－フェノキシフェニル）プロピル〕（ジメチル）シラン｝はFig. 1の構造を有する化合物で，Hoechst AGから提供されたものである。対照化合物としては，市販品のペルメトリン，d/，d－T80－アレスリン，ならびに大日本除虫菊㈱中央研究所で合成したヘキサヒドロピリミジン誘導体（H.H.P.と略称，Fig.2 の化合物）を用いた。

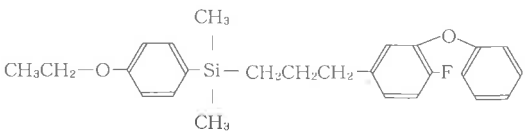


Fig.1　Chemical structure of silafluofen

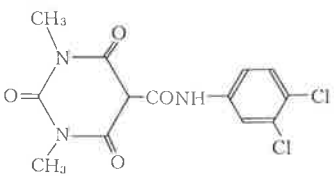


Fig.2　Chemical structure of H. H. P.

(2) 供試製剤

試験に供した熱水浴液処理用製剤の組成は下記のとおりである。

A；シラフルオフェン乳剤

防虫有効成分	シラフルオフェン	20%（w/w）
その他の成分	乳化剤，溶剤	80%（w/w）

B；ミチンAL乳剤（市販品）

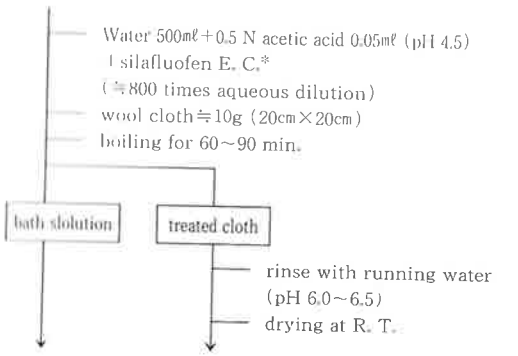
防虫有効成分	ペルメトリン	5%（w/w）
	P.B.P.	5%（w/w）
その他の成分		90%（w/w）

(3) 供試虫

供試衣料害虫として，大日本除虫菊㈱中央研究所内の恒温室（25±1℃）で飼育しているイガ（casemaking clothes moth, *Tinea translucens* MEYRICK），コイガ（webbing clothes moth, *Tinecola bisselliella* HUMMEL）ならびに室温飼育のヒメカツオブシムシ（black carpet beetle, *Attagenus unicolor* BRAHM）の幼虫を用いた。

(4) 熱水浴液処理布の調製

シラフルオフェン処理布の調製は，CARTERら（1977）の報告に準じ，Fig.3に示すチャートに従った。すなわち浴槽に水500mℓを入れ，0.5N酢酸0.05mℓを加えてpH 4.5に調整したのち，所定量のシラフルオフェン乳剤を水で約800倍に希釈して添加した。羊毛布（約10g；20cm×20cm）を浴槽に入れ，浴液の温度を徐々に上げて，60～90分間沸騰を継続させた。浴液から処理布を取り出し，中性（pH 6.0～6.5）になるまで流水ですすいだのち自然乾燥し，効力試験ならびに化学分析に供した。



*Silafluofen E. C.: Silafluofen emulsifiable concentrate containing silafluofen 20% (w/w) and other components 80% (w/w).

Fig.3 Application of silafluofen agent to wool cloth

なお，ミチンAL処理布については，その標準使用方法に基づき，浴液のpHを2.1，また，浴液温度を60℃とした以外は前記シラフルオフェン処理布の調製方法に従った。

2. 効力試験方法

(1) 微量滴下法

供試化合物または供試製剤のアセトン溶液を，コイガ幼虫（平均体重；3.9～4.4mg）ならびにヒメカツオブシムシ幼虫（平均体重；5.8～6.3mg）の背板に施用した。

(2) エーテル溶液処理布の防虫試験

IWS-TM 25（International Wool Secretariat Test Method 25）を参考にして行った。未処理羊毛布を直径4.0±0.2cmの円形に切り取り，所定量の供試化合物または供試製剤のエーテル溶液を均一に付着させたのち自然乾燥した。この羊毛布1枚を，イガ幼虫（30頭，平均体重，1.9～2.1mg）またはヒメカツオブシムシ幼虫（15頭，平均体重；1.9～2.1mg）とともに，直径4.5cm，深さ1cmのシャーレに入れ，蓋をして25±1℃の暗所に保存した。2週間後に供試布重量を測定して試験開始時との差から食害量を求め，未処理布の食害量に対する比率を算出した。試験は繰り返し2回行ない，Table 1の評価基準に従って防虫効力を検定した。

Table 1 Visual assessment of moth-proofing agents according to IWS-TM 25

Item	Symbol	Level of damage
Cropping	1	No detectable damage
	2	Very slight visible cropping
	3	Moderate cropping
	4	Very heavy cropping
Holes	A	No detectable damage
	B	Yarn or fibers partially severed
	C	A few small holes ; yarn or fibers severed
	D	Several large holes

(3) 熱水浴液処理布の防虫試験

「1.(4)熱水浴液処理布の調製」で得られた羊毛布を4.5cm×4.5cmに裁断し，イガまたはヒメカツオブシムシ幼虫（10頭，平均体重は「2.(2)エーテル溶液処理布の防虫試験」の場合と同様）とともに，直径7.5cm，深さ1.5cmのシャーレに入れ，蓋をして25±1℃の暗所に保存した。イガは1および2週間後，ヒメカツオブシムシについては1，2，3および4週間後に羊毛布の食害状況を観察して供試製剤の防虫効力を評価した。なお，評

価結果は，

＋；極小さい食害跡のあるもの，＋＋；食害跡のあるもの，＋＋＋；食害が著しいもの

で表わした。

(4) エーテル溶液処理布の残効性試験

供試化合物のエーテル溶液を4.5 cm×4.5 cmの羊毛布に吸着させ，25±1℃の暗所に保存した。1～6ケ月の所定期間後に処理布を取り出し，ヒメカツオブシムシを用いて処理布の残効性を調べた。なお，試験方法は，観察期間を4週間または6週間とした以外は前述の「熱水浴液処理布の防虫試験」に従った。

3. 化学分析

(1) シラフルオフェン処理布の分析

裁断した羊毛布約0.5 gを正確に量り，10mlのバイアルに入れた。これにメタノール5 mlを加え，超音波槽（50～60℃）に1時間静置して，羊毛布に吸着されたシラフルオフェンの抽出を行った。抽出液に内部標準物質のトリフェニルベンゼンを加え，メンブランフィルター（PTFE 0.5 μm）を用いてろ過し，ろ液につき下記の条件で高速液体クロマトグラフィ（H.P.L.C.）により分析した。

H.P.L.C.条件

H.P.L.C.機種　：島津LC-3A
カラム　：Zorbax ODS
検出器　：SPD-6A，UV 230nm
移動相　：アセトニトリル／メタノール／水＝65／15／20
流量　：2 ml／min
サンプル注入量　：5 μl

(2) ミチンAL処理布の分析

シラフルオフェン処理布と同様に抽出し，抽出液につき高速液体クロマトグラフィ（H.P.L.C.）を用いてペルメトリン吸着量を測定した。なお，ミチンALの有効成分の一つであるH.H.P.の分析は行なわなかった。

H.P.L.C.条件

H.P.L.C.機種　：島津LC-10A
カラム　：Zorbax ODS
カラム温度　：40℃
検出器　：SPD-10A，UV 230nm
移動相　：アセトニトリル／水＝68／32（バッファーとして5%水酸化カリウム(w/v)と20%の氷酢酸水溶液(w/v)の混合液を1 lあたり1 ml加える。）
流量　：2 ml／min
サンプル注入量　：5 μl

(3) 熱水浴液中の有効成分の分析

それぞれの製剤で処理後の浴液約500 mlから50mlを量りとり，食塩20 gと内部標準物質を加え，10mlのクロロホルムを用いて2回分液抽出した。クロロホルム抽出液を脱水後その濃縮液につき，高速液体クロマトグラフィ（条件は3－(1)，(2)と同様）で分析し，浴液全体量に換算して残存有効成分量を求めた。

結果及び考察

1. 効力試験

(1) 微量滴下法

イガの幼虫は通常ケースに被覆されているため，微量滴下法にはTable 2に示すようにコイガならびにヒメカツオブシムシを用いた。試験の結果，シラフルオフェンのコイガならびにヒメカツオブシムシに対する接触による殺虫効力は，dl, d-T80-アレスリンに比べて非常に高かったが，ペルメトリンには劣った。ミチンAL（ペルメトリン5%とH.H.P. 5%の混合物）のこれらの害虫に対するLD50値は，ペルメトリンのそれと比較すると約20倍で，ミチンALの接触効果の主体がペルメトリンであることを示唆した。

Table 2 Insecticidal activity of silafluofen by topical application

Test agent	LD_{50}(μg/larva)	
	Webbing clothes moth	Black carpet beetle
Silafluofen	0.055	0.12
dl, d-T80-allethrin	—	4.0
Permethrin	0.010	0.058
Mitin AL*	0.28	1.00

*Mitin AL: Commercially available emulsifiable concentrate containing permethrin 5% (w/w), hexahydropyrimidine derivative 5% (w/w), and other components 90% (w/w).

(2) エーテル溶液処理布の防虫試験

IWS-TM25を参考にして行ったエーテル溶液処理布の試験結果をTable 3及びTable 4に示す。有効成分量としてO.W.W.（対繊維重量）0.001～0.01%で処理したシラフルオフェン処理布は，ペルメトリンやミチンA

Table 3 Anti-feeding efficacy of silafluofen against casemaking clothes moths (Method*: IWS-TM 25)

Test agent	Dose A. O. W. W.** (%)	Relative amount of feeding (% against control)	Estimation
Silafluofen	0.001	9.1	1B, 1C
	0.005	6.3	1C, 2A
	0.01	4.0	1B, 1B
Permethrin	0.001	95.2	1C, 1D
	0.005	96.2	1C, 2C
	0.01	70.0	1C, 1C
H. H. P.	0.001	110.1	1C, 1C
	0.005	116.0	1C, 2C
	0.01	112.3	1C, 1C
Mitin AL	0.001	88.2	1D, 1D
	0.005	77.7	1C, 1C
	0.01	63.5	1C, 1C
Control	0	100	1C, 1C

* Method : An ether solution of test agent was applied to the wool clothes. The treated clothes were infested with the test insects and the amount of feeding was measured after two weeks of exposure at 25℃. Assessments were made on the basis of "Level of damage" in Table 1.

** A. O. W. W. : Active ingredient on weight of wool.

Table 4 Anti-feeding efficacy of silafluofen against black carpet beetles (Method*: IWS-TM 25)

Test agent	Dose A. O. W. W.** (%)	Relative amount of feeding (% against control)	Estimation
Silafluofen	0.001	11.3	2A, 3A
	0.005	12.0	1A, 1A
	0.01	6.0	1A, 1A
Permethrin	0.001	66.2	3D, 4D
	0.005	41.9	2A, 3C
	0.01	29.4	2A, 3C
H. H. P.	0.001	67.0	3C, 4D
	0.005	21.3	3B, 3C
	0.01	16.2	3A, 3A
Mitin AL	0.001	50.7	3C, 3D
	0.005	24.2	2A, 3B
	0.01	9.7	1A, 1A
Control	0	100	3C, 3C

* Method : The same as in Table 3.

** A. O. W. W. : Active ingredient on weight of wool.

1, 処理布に比べて，イガならびにヒメカツオブシムシによる食害量が非常に少なく，高い食害防止効果が認められた。シラフルオフェンの微量滴下法での効力はペルメトリンより低かったことから，この化合物の有する食毒作用（KERNら，1990；南手ら，1990）が反映しているものと考えられた。また，H. H. P.はイガに対して防虫効果をほとんど示さなかったが，ヒメカツオブシムシに対してはある程度の食害防止効力を有し，ミチンALにおいてペルメトリンの効力を補足していることが認められた。シラフルオフェンのO. W. W. 0.01%における評価は，イガに対して1B，一方，ヒメカツオブシムシに対しては1Aでほぼ満足のいくものであったが，本試験がエーテル溶液の表面付着法であることを考慮すると，実用濃度としては0.01%以上を必要とするものと考えられた。

(3) 熱水浴液処理布の防虫試験

熱水浴液処理布の食害防止試験結果をTable 5及び，Table 6に示す。シラフルオフェンの処理濃度は，有効成分量としてO. W. W. 0.005～0.03%の5濃度，ミチンALについては0.2%，すなわちペルメトリン0.01%とした。その結果，シラフルオフェン処理布は，イガに対

Table 5 Anti-feeding efficacy of silafluofen against casemaking clothes moths (Method* : bath treatment)

Test formulation	Dose A. O. W. W.** (%)	Feeding damage 1W	Feeding damage 2W
Silafluofen E. C.***	0.005	++	+++
	0.01	+	++
	0.015	±	±
	0.02	−	−
	0.03	−	−
Mitin AL****	0.01 (as permethrin)	+	++
Control		+++	+++

* Method : Wool clothes were treated with test formulations as shown in Fig. 1. The anti-feeding efficacy of the test formulations was assessed on the basis of visual damage of the treated clothes after certain periods of exposure to the test insects.

** A. O. W. W. : Active ingredient on weight of wool.

*** Silafluofen E. C. : Silafluofen emulsifiable concentrate containing silafluofen 20% (w/w) and other components 80% (w/w).

**** Mitin AL : Commercially available emulsifiable concentrate containing permethrin 5% (w/w), hexahydropyrimidine derivative 5% (w/w), and other components 90% (w/w).

Table 6 Anti-feeding efficacy of silafluofen against black carpet beetles (Method* : bath treatment)

Test formulation	Dose A. O. W. W.** (%)	Feeding damage 1W	2W	3W	4W
Silafluofen E. C.***	0.005	±	+	+	+
	0.01	−	−	−	−
	0.015	−	−	−	−
	0.02	−	−	−	−
	0.03	−	−	−	−
Mitin AL****	0.01 (as permethrin)	−	−	−	−
Control		+++	+++	+++	+++

* Method : The same as in Table 5.
** A. O. W. W. : Active ingredient on weight of wool.
*** Silafluofen E. C. : The same as in Table 5.
**** Mitin AL : The same as in Table 5.

しO. W. W. 0.02%以上，一方ヒメカツオブシムシに対しては0.01%以上で全く食害が認められなかった。ミチンALと比較するとその食害防止効力はほぼ同等で，前記防虫試験の結果とは若干異なる傾向を示したが，O.W.W. 0.02%で十分実用に耐えうる防虫性能を示すことが確認された。

(4) エーテル溶液処理布の残効性試験

Table 7は，供試化合物のエーテル溶液を吸着させた羊毛布について，1～6ケ月保存後，ヒメカツオブシムシに対する食害防止効力を調べたものである。シラフルオフェン処理布は残効性にすぐれ，有効成分量としてO. W. W. 0.05%で処理6ケ月後においても十分な効力を持続したのに対し，dℓ, d−T80−アレスリン（O. W. W. 0.1%）は処理2ケ月後に食害が観察され残効性に乏しいことが明らかとなった。

Table 7 Anti-feeding efficacy of silafluofen against black carpet beetles (Method* : ether solution treatment)

Test agent	Dose A. O. W. W.** (%)	Testing time (months after treatment) initial (4W***)	1 (4W***)	2 (6W***)	4 (6W***)	6 (6W***)
Silafluofen	0.05	−	−	−	−	−
	0.1	−	−	−	−	−
	0.2	−	−	−	−	−
dl, d-T80-Allethrin	0.05	+	+	+	+	+
	0.1	−	−	+	+	+
	0.2	−	−	−	−	−
Control		++	++	++	++	++

* Method : Each ether solution of test agent was applied to the wool clothes. After certain periods of time, the treated clothes were exposed to the test insects and the anti-feeding efficacy was evaluated.
** A. O. W. W. : Active ingredient on weight of wool.
*** Observation period.

2. 供試製剤の羊毛布への吸着性試験

実験方法の「3．化学分析」に従い，供試製剤の羊毛布への吸着率，浴液中の残存率を求め，浴液処理工程中における有効成分の安定性を調べた。その結果をTable 8に示す。シラフルオフェン製剤は，100℃で吸着処理を行ったが，有効成分量としてO. W. W. 0.01～0.03%でいずれも80～90%の高い吸着率を示し，浴液中の残存率を合わせた回収率もほぼ90%であった。一方，ペルメトリン製剤（シラフルオフェン製剤組成の有効成分をペルメトリンに変え，100℃で処理したもの）では，吸着率，回収率とも60～70%で，この傾向は60℃で処理したミチンAL製剤でも同様であった。この結果はペルメトリンが浴液処理中にかなり分解するのに対し，シラフルオフェンは化学的安定性にすぐれ，実用的な条件でも浴液温度を100℃まで高め得ることを示すものである。

Table 8 Adsorption rate of silafluofen to wool clothes

Test formulation	Bath temp. (℃)	Dose A. O. W. W.* (%)	Analytical result (%) Wool cloth (adsorption rate)	Bath solu. (residual rate)	Total (%) (recovery rate)
Silafluofen E. C.**	100	0.01	82.3	6.9	89.2
		0.02	87.6	2.0	89.6
		0.03	89.5	4.1	93.6
Mitin AL***	60	0.01	64.9	4.2	69.1
Permethrin E. C.****	100	0.01	64.3	1.5	65.8

* A. O. W. W. : Active ingredient on weight of wool.
** Silafluofen E. C. : The same as in Table 5.
*** Mitin AL : The same as in Table 5.
**** Permethrin E. C. : Based on silafluofen E. C. formulation and same application procedures to wool clothes.

一般に，高温で処理するほど吸着率が高まる傾向があるので，シラフルオフェンの高い化学的安定性は非常に有利な特長といえる。

結　論

Table 9は，シラフルオフェン繊維処理剤の特徴をま

Table 9 Characteristics of silafluofen mothproofing agents

Test agent	Anti feeding efficacy		Safety		Stability	
	Casemaking clothes moth	Black carpet beetle	Mammals	Fish	Dye-bath	Light, persistency
Silafluofen	○	○	○	○	○	○
Mitin AL (Permethrin)	○	○	○	×	△	△

○ : Excellent, △ : Moderate, × : Not good

したものである。シラフルオフェンはイガ，カツオブシハラ等に対する防虫効力，人畜に対する安全性にすぐれるほか，ミチンALとは対照的に魚毒性が非常に低い（SCHUBERT, 1989）ため排水処理上非常に有利である。更に，吸着処理工程中の化学的安定性，光に対する安定性（南手ら，1990）についても，ミチンALに比べてすぐれているので極めて実用性の高い製剤といえる。

文　献

CARTER, S. W. and P. A. DUFFIELD (1977) Mothproofing with permethrin during dyeing. *J. Text. Inst.* **68**：330–334.

KERN, M., W. BOSSALLER, H. GRÖTSCH, H.-M. KELLNER, W. KNAUF, and U. SCHACHT (1990) Insecticidal mode of action of the Silaneophane Hoe 084498. 日本農薬学会第15回大会講演要旨：49.

南手良裕・神崎　務・勝田純郎（1989）Hoe-498の白アリならびに繊維害虫防除分野への適用．日本農薬学会第14回大会講演要旨：58.

南手良裕・神崎　務・勝田純郎・西本孝一（1990）新規シラネオファン（Hoe-498）のシロアリ防除分野への適用．環動昆　**2** (3)：117–122.

SCHUBERT, H., G. SALBECK, W. KNAUF, R. SCHAUB and A. WALTERSDORFER (1989) Synthesis and properties of the Silaneophane Hoe498, a promising new insecticide. 日本農薬学会第14回大会講演要旨：55.

WIMBUSH, J. M. (1990) The chemical analysis of insect-resist agents on wool. Part 2-pyrethroids. *J. S. D. C.* **106**：241–244.

環動昆
第4巻　第1号：24－29（1992）

し尿浄化槽に発生するオオチョウバエ、*Clogmia albipunctata*（WILLISTON）に対するmethoprene及びその徐放製剤 Altosid® 10Fの効果

亀井正治[1)]・浅野昌司[1)2)]・吉川和俊[1)3)]・石井　孝[4)]

1）アース製薬株式会社バイオケミカル事業部
2）現在：株式会社クボタ技術開発研究所つくば研究室
3）現在：三菱瓦斯化学株式会社新潟研究所
4）徳島大学教養部生物科学

（受理：1991年8月31日）

Laboratory and Field Evaluation of Methoprene and its Slow-release Formulation, Altosid 10F, against Moth Fly, *Clogmia albipunctata* (WILLSTON). Masaharu KAMEI,[1)] Shoji ASANO,[1)2)] Kazutoshi KIKKAWA,[1)3)] ([1)] Biochemical Project,Earth Chemical Co., Ltd., 923 Kagasuno, Kawauchi, Tokushima 770 ; [2)]Present address, Tsukuba Research &Development Laboratories 5-6 Koyodai, Ryugasaki 301 ; [3)] Present address, Niigata Research Laboratory, Mitubishi Gas Chemical Co. Inc., 182 Tazuhama, Niigata 950-31), and Takashi ISHII (College of General Education, University of Tokushima, 1-1 Minamijosanjima, Tokushima 770). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **4** : 24-29 (1992)

Biological activity of juvenile hormone mimic, Methoprene (isopropyl 11-methoxy-3,7, 11-trymethyl dodeca-2,4-dienoate), and its slow-releasa formulation, Altosid® 10F (A10F),which contains 10% w/w methoprene, was evaluated against the moth fly,*Clogmia albipunctata* (WILLISTON) in the laboratory and in the field. The effect of A10F on the growth of active sludge microorganisms collected from septic tanks was also evaluated in the laboratory. Biological activity of methoprene on *C. albipunctata* was similar to those on mosquitoes, causing pupal death, egergence failure, and abnomal adults. The IC_{50} values of methoprene to the last instar larvae of *C. albipunctata* was 0.5ppb. A10F at the 4 ppm level of methoprene has no effects on the growth of active sludge microorganisms. Fieled trials were conducted against natural populations of *C. albipunctata* in septic tanks at methoprene levels of 0.25 and 0.5 ppm. The result showed that A10F was effective for more than 1 month to prevent the emergence of mothflies at the above concentration levels.

Key Words： Methoprene, Altosid® 10F, Moth fly, *Clogmia albipunctata*,Control, IGR

オオチョウバエ *Clogmia albipunctata* 終齢幼虫に対するmethoprene（工業原体；純度86.6％）及びその徐放製剤，Altosid®10F（A10F）の羽化阻害効果を実験室内で調べると共に，A10Fの浄化槽に生息するオオチョウバエに対する防除効果及び活性汚泥生物に及ぼす影響について実験室内で検討した。供試昆虫に対するIC_{50}は，methopreneで0.5 ppb，A10Fで0.3 ppbで，methopreneの供試昆虫に対する生理活性は，高濃度（5ppm）でも直接的な致死効果は少なく，供試昆虫の大半は蛹まで発育し，致死効果は蛹から成虫になる段階で現われることが明らかになった。活性汚泥生物に対するA10Fの阻害率は，4.0 ppm（AI）で3.4％であった。オオチョウバエが発生している浄化槽に，A10Fを0.25 ppmと0.5 ppm（AI）で散布して防除試験を行った結果，散布後30日以上にわたって成虫の発生を強く阻害した。このことから，A10Fは浄化槽に発生するオオチョウバエ防除に適当な薬剤と考えられる。

はじめに

オオチョウバエ，*Clogmia albipunctata*（Williston）は，し尿浄化槽の普及にともない，都市及びその周辺で，大量に発生し，不快害虫として問題になっている。また，本種は，人体迷入例も報告され（Tokunaga, 1953；上村・荒川，1986）ており，衛生害虫としても，重要である。

オオチョウバエに対しては，これまで有機リン系及びカーバメイト系殺虫剤による防除が検討されてきた（森谷ら，1969）が，活性汚泥中の細菌や原生動物の増殖に害を及ぼさない薬剤の使用が望まれる。

昆虫に対して強い幼若ホルモン活性を示すmethopreneを有効成分とするAltosid®10Fは，特に双翅目昆虫に対して，優れた防除効果があることが明らかにされている（Spielman and Williams, 1966；Henrick *et al.*, 1973；武衛ら，1975；Mulla *et al.*, 1974, 1976；亀井ら，1982；浅野ら，1984；Ishii, 1985；石井ら，1987）。

そこで，この報文では，オオチョウバエに対するmethoprene及びその徐放製剤，Altosid®10F（A10F）の羽化阻害効果を実験室内で評価すると共に，オオチョウバエが生息する鳴門市内にあるN病院と徳島市内にあるO工場の浄化槽にA10Fを散布して，実際の防除効果を調べ，さらにこれらの薬剤の，活性汚泥生物に及ぼす影響について検討したので報告する。

材料及び方法

1. 供試昆虫

室内実験に用いたオオチョウバエは，徳島市内の浄化槽から1981年4月16日に採集し，その後27℃の恒温室で継代飼育している系統である。試験には，その終齢幼虫を用いた。

2. 供試薬剤

室内実験には，methopreneの工業原体（純度86.6％）とA10F（10％ w/wのmethoprene），微粒の活性炭に吸着させた市販製剤）を，野外実験には，A10Fだけを用いた。また，A10Fの活性汚泥菌の生育に及ぼす試験では，対照薬剤として，fenitrothion 5％，dichlorvos 2％，その他93％からなる市販乳剤（ミサイル乳剤SS，有恒薬品株式会社製）を用いた。

3. 室内実験における供試液（methoprene溶液）の調整

上記のmethopreneの工業原体を，あらかじめエチルアルコールに溶解し，その1 mlを蒸留水で1,000倍に希釈した後，腐敗水（前もって蒸留水中に日本薬局方乾燥酵母（エビオス®）を入れて腐敗させておいた水）と1：1に混合して所定の濃度に調整した。A10Fは，腐敗水で所定濃度に希釈した。

4. 室内実験方法

試験に際しては，各濃度の供試液200 mlずつを，腰高シャーレ（d, 9.0cm；h, 7.5cm）に入れ，供試虫が溺死するのを防ぐため，これに直径15cmの濾紙を円錐形に折って入れ，さらに脱脂綿を浮かせた。腰高シャーレの中にオオチョウバエ終齢幼虫を25個体ずつ入れて，25±2℃の飼育室内で試験を行った。試験期間中は，乾燥酵母約1 gを2日ごとに与えた。羽化は，実験開始後7日以内に完了した。

5. 効果判定方法

薬剤による影響判定の基準

室内実験においては，実験開始8日後に供試昆虫を次のように分類して計算した。幼虫死亡個体数(L)，蛹死亡

個体数(D)，羽化失敗個体（蛹殻から完全に体が脱出できないもの）数(F)，奇形成虫（外見上形態に異常が認められ正常な飛翔活動ができないもの）数(A)及び正常成虫個体数(N)に分けて記録した。実験は，2回ずつ繰り返して行い，平均値をもとに，次式によって羽化率（Emergence Rate, ER）を求めた：

$$\text{羽化率（ER\%）} = \frac{N}{L+D+F+A+N} \times 100$$

試験区及び対照区におけるERからABBOTTの式により補正羽化率（Corrected ER, CER）を求めて，効果判定の基準とした。

6. 活性汚泥生物に対する影響調査方法

徳島市内の排水処理場で採取した活性汚泥1 mlを，蒸留水で所定濃度に希釈したA10F液1 mlと混合し，これに予め加熱融解させ，45－50℃に保った標準寒天培地（日水製薬株式会社製）8 mlと混合して水道水で冷却後，これをシャーレ（d, 9cm ; h, 2cm）に入れて，平板培地を作り，これを28℃の恒温室内で24時間培養して，出現した菌コロニー数を肉眼で数えた。この実験は，各濃度ごとに3回反復して行い，その平均値を求め，無処理におけるコロニー数を100とした場合の各濃度の生育指数で影響度を調べた。

7. 野外試験における薬剤散布

N病院浄化槽（Fig.1）における薬剤散布は，1981年6月11日に，沈澱分離槽容量（6.48 ㎥）に対して，有効成分量で0.25 ppmになるように，A10Fの400倍希釈液を手動噴霧器を用いて，槽内表面に均等に散布した。O工場浄化槽（Fig.1）においては，1981年5月18日に行った。ここでは，浄化槽容量（11.2 ㎥）に対して，有効成分量が0.25 ppmになるように，A10Fの100倍希釈液を手動噴霧器を用いて，槽内表面に均等に散布した。

8. 野外試験における効果判定

N病院浄化槽では，マンホールの入口付近に休止する成虫個体数を数えると共に，前記と同じ方法で，固形物内から羽化する成虫個体数を記録した。O工場浄化槽では，マンホール下部壁面に方形枠（20×20cm）を4か所に当てて，その枠内に休止している成虫個体数を数えた。また，沈澱分離槽から，柄杓で固形物を約100 g採取し，プラスチックカップ（d, 15cm ; h, 5.5cm）に入れ27℃で4日間に羽化した成虫個体数を記録した。

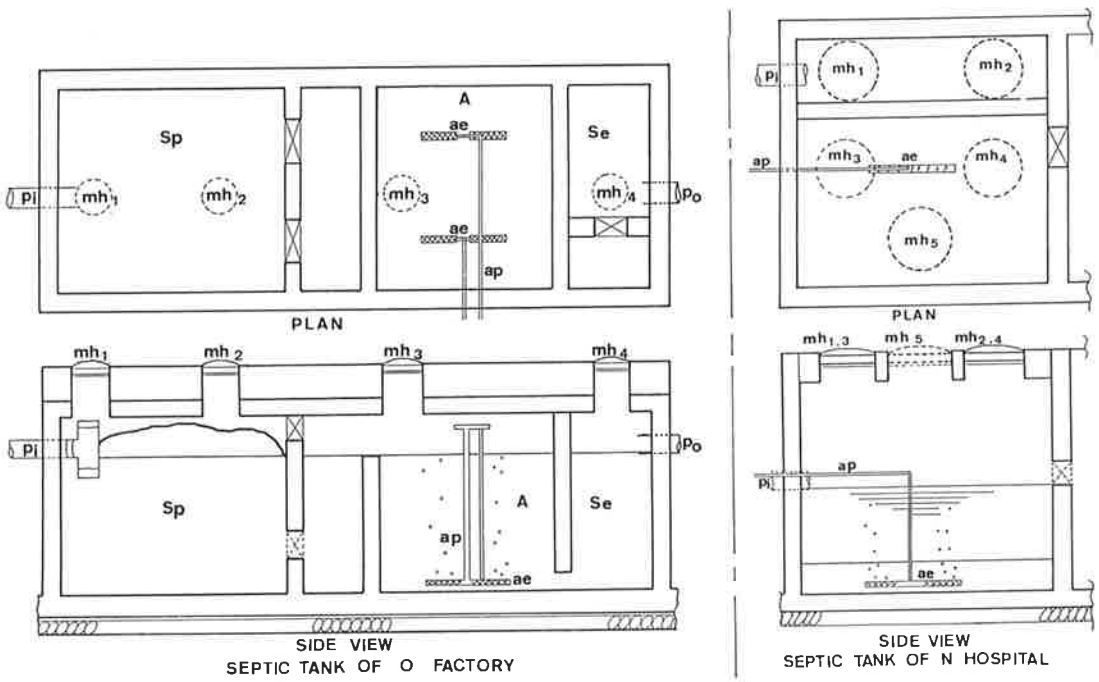


Fig. 1 Structure of the septic tanks tested. A, aeration chamber, ae, aerator ; mh, manhole ; pi, inlet pipe ; po, outlet pipe ; Se, sedimentation chamber ; Sp, separation chamber.

9. 調査期間中の気象状況及び野外実験槽内温度

徳島気象台の観測資料（日本気象協会徳島支部 1987 a, b, c）によれば，この試験期間の旬平均気温の最低値～最高値は：5月，17.0－19.2℃；6月，20.5－22.3℃；7月，25.6－28.2℃，8月，26.1－27.0℃であった。月平均気温は各月とも平年並であった。なお，上記観測地点からの距離は，N病院まで約30km，O工場まで約15kmである。野外実験槽内温度は，27℃前後でほぼ一定していた。

結　果

1. 室内実験

1) オオチョウバエに対するmethopreneの生理活性

結果を，Table 1 に示す。対照区における幼虫及び蛹

Table 1 Emergence inhibition of methoprene against the last instar larvae of the moth fly, C. albipunctata.

Concentrations (ppm)	No. larvae tested	Mortality(%) at larvae	pupae	adult	CER*
5	50	12.0	88.0	0.0	0.0
0.5	50	20.0	80.0	0.0	0.0
0.05	50	18.0	78.0	4.0**	0.0
0.005	50	14.0	38.0	38.0	11.6
0.0005	50	10.0	12.0	36.0**	48.8
0.00005	50	14.0	6.0	4.0	88.4
Control	50	4.0	10.0	0.0	(86.0)***

* Corrected emergence rate
** Including 2% emergence failure
*** Emergence rate

の死亡率は，それぞれ，4.0％と10.0％であった。Methoprene処理区では，幼虫に対する致死効果は10－20％で，顕著でなかった。蛹死亡率は，0.005－5 ppm処理区で13.0－88.0％であった。対照区では見られなかった異常成虫の出現率は，0.5と5 ppb処理区で，それぞれ，36.0％と38.0％であった。この表の数値からプロビット変換後，薬剤濃度（Y：対数）と羽化阻害率(X)の間で得られる回帰式は，$Y = 1.1956X + 8.9604$ で，IC_{50}（50％羽化阻止濃度）は，0.5 ppb であった。

2) オオチョウバエに対するAltosid 10Fの生理活性

Table 2は，A10Fのオオチョウバエに対する羽化阻止効果を調べた結果を示す。Methopreneの試験と同様に回帰式とIC_{50}は，0.3 ppbであった。

3) 活性汚泥菌に対するAltosid 10Fの影響

Table 2 Emergence inhibition of Altosid 10F against the last instar larvae of the moth fly, C. albipunctata.

Concentrations (ppm)	No. larvae tested	Mortality(%) at larvae	pupae	adult	CER*
5	50	6.0	94.0	0.0	0.0
0.5	50	14.0	86.0	0.0	0.0
0.05	50	8.0	92.0	0.0	0.0
0.005	50	10.0	60.0	26.0(24.0)**	5.1
0.0005	50	0.0	30.0	46.0(40.0)	30.8
0.00005	50	12.0	10.0	8.0(8.0)	89.7
Control	50	10.0	10.0	2.0	(78.0)***

* Corrected emergence rate
** % abnormal adults in parentheses
*** Emergence rate

結果をTable 3に示す。有効成分量4.0 ppm の場合，阻害率は3.4％であった。一方，対照薬剤では，17.1％であった。

Table 3 Effects of Altosid 10F and VS emulsifiable formulation (3% fenitrothion + 2% dichlorovos) on the growth of active sudge microorganisms.

Chemicals	Concentrations (ppm)	No. colonies (mean)	Growth index*
Altosid 10F	4.0	515.3	96.6
	2.0	559.3	104.8
	1.0	637.0	119.4
VS emulsifiable formulation	8.4	376.3	70.5
	4.2	442.3	82.9
	2.1	571.1	107.1
control	—	533.7	100.0

* Calculated by the formula:

$$\frac{\text{No. of colonies in treated dishes}}{\text{No. of colonies in control dishes}} \times 100$$

2. 野外実験

N病院浄化槽で行った結果をFig.2に示す，散布前には，採取した固形物から羽化成虫が得られ，マンホール壁面にも，平均17–39個体の成虫が休止していたが，散布後6日目には，全く休止個体がなく，採取した固形物からも成虫が得られなかった。従って，この場合，成虫羽化阻害効果は約1.5か月持続した。

O工場内浄化槽で行った結果をFig.3に示す。採取した固形物からの成虫羽化は，散布後3日間見られたが，その後23日目までは見られなかった。マンホール壁面の休止成虫は，散布後個体数の低下がみられたが，その後

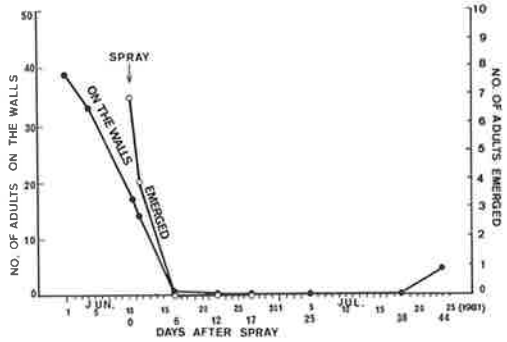


Fig. 2 Number of emerged *Clogmia albipunctata* and adults on the walls in the septic tank of N Hospital sprayed by Altosid 10F (0.25 ppm, AI/tank water).

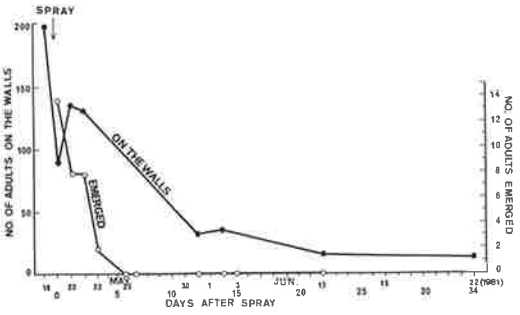


Fig. 3 Number of emerged *Clogmia albipunctata* and adults on the walls in the septic tank of O Factory sprayed by Altosid 10F (0.25 ppm, AI/tank water).

散布前の約10%前後となった。

考　察

Methopreneのオオチョウバエ終齢幼虫に対する生理作用は，蚊を初め多くの双翅目昆虫に対して知られているのと同様，高濃度（5 ppm）でも直接的な致死効果は少なく，供試虫の大半は蛹まで発育し，致死効果は蛹から成虫になる段階で現われることが明らかになった。すなわち，methopreneにおいては0.05 ppm以上の濃度では，供試個体のほぼ80%以上が蛹のままで死亡したが，0.0005－0.005 ppm処理区では，36－38%の異常成虫の出現がみられ，methoprene が低濃度で羽化を阻害することが明らかになった。ここで得られたmethopreneとA10FのIC$_{50}$（それぞれ，0.5 ppbと0.3 ppb）は，森谷ら，（1969）の用いた市販の殺虫剤，バイテックス，スミチオン，ダイアジノン，ディプテレックス，DDVP，及びセビンのLC$_{50}$（24時間値），（それぞれ，2.6，8.1，19，37，85及び710ppm）と比べると極めて低い値である。彼らの試験は，24時間限定浸漬法であるから，今回私たちが行ったように終齢幼虫から羽化まで継続浸漬させる方法と単純に比較できないが，methopreneは有機リン系殺虫剤よりも低濃度で有効で，オオチョウバエに対しては，アカイエカに対する実用濃度（1 ppm）よりも低い濃度で効果があると考えられる。

浄化槽に発生するオオチョウバエを防除する場合には，使用薬剤の活性汚泥菌に対する影響を考慮しなければならない。A10Fの場合，4 ppm（AI）で散布しても，活性汚泥菌に対して有害な影響を及ぼさないと考えられる。一般に，オオチョウバエの幼虫が生息する環境は，光がほとんど入らない暗い環境であることを考慮すれば，残効性は明るい環境におけるよりも長いと思われるので，オオチョウバエ防除のための実用濃度は，蚊幼虫に対する濃度（1 ppm）よりも低くても良いと考えられる。従って，A10Fは，活性汚泥菌に対して有害な影響を及ぼさないでオオチョウバエの発生を抑えることができよう。

一方，実際に浄化槽で行ったオオチョウバエの防除試験の結果，N病院では，0.25 ppm（AI）の散布で成虫の発生を30日以上ほぼ完全に抑えた。しかし，O工場では，成虫密度を低く抑えることができたが，常に若干の成虫が見られた。この差は，浄化槽の構造上の差によると考えられる。すなわち，N工場では薬剤を幼虫発生場所にまんべんなく散布できたが，O工場では沈澱分離槽の空間が少なく，薬剤の行き届かない所が一部にあったためと思われる。なお，これら両方の浄化槽は，調査期間中幼虫の生息が認められた。このことは，A10FがTable 1に見られるように，羽化を強く阻害するが，幼虫に対する直接的な殺虫効力が弱いためであること，さらに，チョウバエ類成虫は，マンホール等の小さな隙間などから常に浄化槽内に侵入し，産卵活動が行われているためと思われる。

一般に，チョウバエ幼虫は，浄化槽内で濾床閉塞をある程度防ぐ働きがある（津田，1964）といわれており，幼虫が常にいることは，かえってし尿浄化槽の機能上望ましいということになる。この点から考えても，幼虫にはほとんど殺虫力がないA10Fは，浄化槽に発生するオオチョウバエ防除に適当な薬剤と考えられる。

今回の実地試験の結果から，試験に用いた浄化槽では，

A10Fの0.25ppm散布で，オオチョウバエに対し30日以上の防除効果を示したといえるが，し尿浄化槽の型には，多くの種類があり，設置条件にもさまざまあるので，散布方法，濃度については，現場にあった条件を十分に検討する必要がある。また，今回の薬剤散布は，浄化槽の全水量に対して所定の濃度になるように薬量を設定したが，チョウバエ類の幼虫のように，主にスカム上で生活している害虫に対しては浄化槽の表面積当りで，薬量を設定した方がよいと思われる。このことについては今後検討を要する。

引用文献

浅野昌司・釜田　壹・亀井正治・谷　茂夫・岡本秀俊（1984）鶏糞に処理したアルトシッド®10Fのイエバエ羽化阻害効果．衛生動物　35：307−314.

武衛和雄・伊藤寿美代・山田　敬・蒲生信一・加藤雅章（1975）幼若ホルモン類似体methopreneの蚊に対する効果．衛生動物　26：105−111.

HENRICK, C. A., G. B. STAAL and J. B. SIDDALL (1973) Alkyl 3, 7, 11-trimethyl-2, 4-dodecadienoates, a new class of potent insect growth regulator with juvenile hormone activity. *J. Agri. Food Chem.* 21：354−359.

ISHII, T. (1985) Field trails of Altosid 10F against mosquitoes in Japan. *In Integrated Mosquito Control Methodologies* (ed., LAIRD, M. and J. W. MILES, Vol. 2, pp. 143−163, Academic Press, London.

石井　孝・亀井正治・島田秀弥・浅野昌司（1987）徳島市内におけるメトプレン製剤によるアカイエカ防除に関する野外試験．衛生動物　38：65−75.

亀井正治・島田秀弥・大久保新也・石井　孝（1982）徳島産セスジユスリカ，(*Chironomus yoshimatsui* MARTIN et SUBLETTE) に対するAltosid®10Fの効果．衛生動物　33：355−361.

上村　清・荒川　良（1986）オオチョウバエによる尿ハエ症の例．衛生動物　37：161−162.

森谷清樹・矢部辰男・原田文雄（1969）オオチョウバエの生活史の観察と幼虫に対する殺虫剤感受性テスト．衛生動物　20：253−259.

MULLA, M. S., R. L. NORLAND, T. IKESHOJI and W. L. KRAMER (1974) Insect growth regulators for the control of aquatic midges. *J. Econ. Entomol.* 67：165−170.

MULLA, M. S., W. L. KRAMER and D. R. BARNARD (1976) Insect growth regulators for control of Chironomid midges in residential−recreational lakes. *J. Econ. Entomol.* 69：285−291.

日本気象協会徳島支部（1987ａ）徳島の気象．昭和62年9月．日本気象協会徳島支部．15pp

日本気象協会徳島支部（1987ｂ）徳島の気象．昭和62年10月．日本気象協会徳島支部．19pp.

日本気象協会徳島支部（1987ｃ）徳島の気象．昭和62年11月．日本気象協会徳島支部．17pp.

SPIELMAN, A. and C. M. WILLIAMS (1966) Lethal effects of synthetic juvenile hormone on larvae of the yellow fever mosquito, *Aedes aegypti*. *Science* 154：1043−1044.

TOKUNAGA, M. (1953) Moth-flies that cause myasis in man in Japan. *Jpn. J. Sanit. Zool.* 4：101−107.

津田松苗（1964）汚水生物学．北隆館．東京．258pp.

Jpn.J.Environ.Entomol.Zool. 4(1) : 30－32 (1992)

Short Communications

Comparative Susceptibility of Methoprene and Organophosphorus Insecticides in Japanese and Chinese Populations of *Culex pipiens*

Masaharu KAMEI[1],Syuya SHIMADA[1],Shoji ASANO[1]*, and Takashi ISHII[2]

1) *Biochemical Project,Earth Chemical Co.,Ltd.,Kawauchi, Tokushima* 770, *Japan*
2) *College of General Education,University of Tokushima, Tokushima* 770, *Japan*

(Received : December 4, 1991)

日本及び中国産アカイエカの Methoprene 及び数種の有機リン系殺虫剤に対する感受性 亀井正治[1]・島田秀弥[1]・浅野昌司[1]*・石井 孝[2] 1）アース製薬株式会社バイオケミカル事業部, 2）徳島大学教養部生物学科)

日本産アカイエカ3系統と同チカイエカ3系統及び上海産アカイエカにおける4齢幼虫の幼若ホルモン系殺虫剤, methoprene と有機リン系殺虫剤 (fenitrothion,dichlorvos fenthion,diazinon) に対する感受性を調べた。methoprene の各系統のアカイエカならびにチカイエカに対する IC_{50}値は, 0.10-0.47ppb で, いずれの系統も methoprene に対して抵抗性が発達していないと考えられる。徳島系アカイエカは, diazinon を除くすべての有機リン系殺虫剤に抵抗性を示し, 特に fenthion に対しては, 抵抗性比が65であった。鳴門系アカイエカ幼虫は, dichlorvos と fenthion に対して, 10-20の抵抗性比を示した。methoprene と有機リン系殺虫剤の間の交叉抵抗性は実験に用いた系統に関する限り存在しないと考えられる。

Key Word : *Cx. pipiens*, Altosid® 10F, Insecticide resistanse

Introduction

There have been several papers reporting organophosphorus insecticide resistance of Japanese *Culex pipiens* larvae (SUZUKI,1968 ; IDE *et al.*,1972; TOKAWA and MUKAI,1974; SUTO and ITO,1974; YASUTOMI,1980). However,susceptibility of the larvae to methoprene (in Altosid® SR-10) was assayed only by SUTO and ITO (1974), using a Nagoya strain. *Culex pipiens* larvae of 4 Japanese and one Chinese strains were tested for susceptibility to methoprene, and those of 3 Japanese strains for susceptibility to fenitrothion, dichlorvos, fenthion, and diazinon. Possibility of a

* Present address : Tsukuba Research & Development Laboratories, Kubota Cor-poration,Ryugasaki 301,Japan
(現在：株式会社クボタ技術開発研究所つくば研究室)

crossresistance to methoprene and the organophosphorus insecticides was discussed.

Materials and Methods

Strains used for the test and their origin are as follows : Naruto strain, collected from a ditch in Naruto in August 1979 ; Tokushima strain, from a ditch in Tokushima in July1979; Suita strain (autogenous), from a ditch in Suita in July1980; Hiroshima strain (autogenous),progeny of a female collected in a hotel in Hiroshima in October 1980 ; 81J2 strain (autogenous),progeny of a female in a house in Tokushima in October 1981 ; and Shanghai,strain obtained from the Shanghai Institute of Entomology, Academia Sinia in June 1981. A known organophosphorus-susceptible Gose strain was used for the base line comparison of insecticidal susceptibility of the other strains. The strains had been maintained in a rearing room kept at 27±1℃ since their introduction to our laboratory.

Three to 6 replicates of 20 to 30 fourth instar larvae were exposed to 6 to 8 concentrations of technical grades of methoprene (95.6%), fenitrothion (95.0%),fenthion (91.6%), dichlorvos (98.0%), and diazinon (95.0%). Each concentration was prepared by adding 5-10μl of an acetone or ethanol solution of each insecticide to 100 ml of pure water in a plastic container (d, 9.6 cm; h, 4.3 cm) which was kept at 27±1℃. Ebios (dried beer yeast) was available for larval food. Larval mortality for organophosphorus insecticides was measured after 24 hours, and analyzed using the probit procedure of FINNEY (1971), to produce LC_{50} and LC_{90} values. The larvae that stayed on the bottom of the container were regarded as dead. The emergence inhibition rate (EIR) for methoprene was calculated by the method of UTSUMI *et al.* (1991). This EIR was further corrected to take cognizance of the rate of emergence failure in controls (Abbott's formula). This gives a corrected EIR (CEIR). The resulting survival rare were subject to probit analysis. Computer analysis was done using a probit analysis program, Statistical Analysis System (SAS/STAT).

Results and Discussion

The comparative susceptibility of the various strains of *Cx. pipiens* to methoprene is presented in Table 1. When compared to the Gose (susceptible) strain at the IC_{50} level, using the minimum criterion of > 3-fold levels of resistance, no strain demonstrated methoprene resistance. The reported IC_{50} values are 0.6 ppb for a Toyonaka strain (NOGUCHI and OTAKI,1974) and 0.17 ppb for an organophosphorus insecticide resistant Nagoya strain (SUTO and ITO,1974),which are compatible with these present data.

Table 1 Methoprene susceptibility of Japanese and chinese strains of *Culex pipiens* complex larvae.

Strain	IC_{50} (ppb)
$81J_2$*	0.43
Hiroshima*	0.27
Suita*	0.25
Tokushima**	0.47
Naruto**	0.19
Shanghai**	0.35
Gose** (susceptible)	0.16

* autogenous

** *pallens*

The LC_{50} values of the organophosphorus insecticides against the Tokushima, Naruto, and susceptible Gose strains, and the resistance ratio, are presented in Table 2. At the LC_{50} level, using the minimum criterion of > 3-fold levels of resistance, the former strains were resistant to all 4 insecticides assayed. The highest levels of resistance were recorded against fenthion (Tokushima, 65-fold; Naruto, 19.6-fold) followed by dichlorvos (Tokushima, 19-fold; Naruto, 13.3-fold). This is understandable since a mixture of fenthion and dichlorvos had been used for *Cx.*

pipiens management by municipal personnel of Tokushima,twice a month from May to September for the past 6 years before the original collection of the strain was made, while in Naruto, no intensive control measures had been used expect that a 3% fenitrothion emulsifiable concentrate

Table 2 Comparative insecticide susceptibility of three strains of *Culex pipiens* larvae and resistance ratio* (R) of *Culex pipiens* larvae to organophoshorous insecticides.

Insecticide	Strain				
	Naruto		Tokushima		Gose
	LC_{50}**	R	LC_{50}	R	LC_{50}
Fenitrothion	0.125	6.6	0.21	11	0.019
Dichlorvos	0.280	13.3	0.40	19	0.021
Fenthion	0.045	19.6	0.15	65	0.0023
Diazinon	0.220	6.3	0.30	8.6	0.035

* Resistance ratio = $\frac{LC_{50} \text{ of Naruto or Tokushima strain}}{LC_{50} \text{ of susceptible (Gose) strain}}$

** in ppm

was delivered to houses as requested.

The LD_{50} values reported against *Cx.pipiens* larvae are; fenitrothion, 0.082; fenthion, 0.50; diazinon, 0.18;DDVP, 0.22ppm (Amagasaki strain; SUZUKI,1968) and the LC_{50} values are; fenitrothion, 0.050; fenthion, 0.043 ppm (Nagoya strain; SUTO and ITO,1974). These values are smaller than our date except that of fenthion against the Amagasaki strain.

Since the Tokushima and Naruto strains were resistant to the organophosphorus insecticides but susceptible to methoprene, there is no cross-resistance against methoprene and the organophosphorus insecticides assayed, as reported by SUTO and ITO.(1974) with the Nagoya strain.

References

FINNEY, D.J. (1971) Probit analysis.Cambridge Univ. Press Cambridge, U.K.

IDE,F., A.WADA, N.KOSIMIZU, H.KOBAYASHI and K.SHIMADA (1972) *Jpn. J. Sanit. Zool.* **22** : 236(in Japanese).

NOGUCHI, Y. and T. OHTAKI (1974) *Jpn. J. Sanit. Zool.* **25** : 185-189 (in Japanese with English summary).

SUTO, C. and H. ITO. (1974) *Jpn. J. Sanit. Zool.* **24** : 355 (in Japanese).

SUZUKI, T. (1968) *Jpn. J. Sanit. Zool.* **19** : 98-100 (in Japanese with English summary).

TOKAWA, K. and A. MUKAI (1974) *Jpn. J. Sanit. Zool.* **24** : 281 (in Japanese).

UTSUMI, Y., A. KAMADA, M. KAMEI, and T. ISHII (1991) *J. Sci., Univ. Tokushima* **24** : 13-17.

YASUTOMI, K. (1980) Review of Applied Entomology. Yokendo, Tokyo (in Japanese). 302pp.

環動昆
第4巻　第1号：33–39 (1992)

解　説

動物（哺乳類）調査とデータ解析の手法

渡辺　弘之

京都大学農学部

要　約

哺乳類調査に際しては，何を目的とするかによって，それに最も適した方法をとらないといけないが，行動範囲の広いこと，夜行性のものが多いこと，ネズミ・モグラ類を除いて，一般には捕獲が許されないなど，調査上むずかしい側面をもっている。とくに，調査経験の有無が精度に大きく影響する。

個体数推定にも，行動圏の大きさ・習性などを考慮し，それぞれのグループにあった方法を採用しなければならないが，暗視装置・テレメーター・ヘリコプターの利用など，新しい取組みが盛んになっている。

日本の陸上性哺乳類の分類・同定

日本の陸上性（陸生）哺乳類は，約105種とされる。中でも翼手目（コウモリ）とげっ歯目のネズミ科のものが多い。

下記に科名だけを列記する。

食虫目（Insectivora）
- トガリネズミ科（Soricidae）
- モグラ科（Talpidae）

翼手目（Chiroptera）
- オオコウモリ科（Pteropidae）
- カグラコウモリ科（Hipposideridae）
- キクガシラコウモリ科（Rhinolophidae）
- ヒナコウモリ科（Vespertilionidae）
- オヒキコウモリ科（Tadaridae）

霊長目（Primates）
- オナガザル科（Cercopithecidae）

ウサギ目（Lagomorpha）
- ナキウサギ科（Ochotonidae）
- ウサギ科（Leporidae）

げっ歯目（Rodentia）
- リス科（Sciuridae）
- ヤマネ科（Gliridae）
- キヌゲネズミ科（Cricetidae）
- ネズミ科（Muridae）
- カプロミス科（Capromyidae）

食肉目（Carnivora）
- クマ科（Ursidae）
- アライグマ科（Procyonidae）
- イヌ科（Canidae）
- イタチ科（Mustelidae）
- ジャコウネコ科（Viverridae）
- ネコ科（Felidae）

偶蹄目（Artiodactyla）
- イノシシ科（Suidae）
- シカ科（Cervidae）
- ウシ科（Bovidae）

クジラ目（Cetacea）および鰭脚目（Pinnipedia）は日本領海内に見られるもののみとするか，近海まで含めるかで，ずいぶん種類数が異なるようである。ここではクジラ目および鰭脚目を除いておいた。

上に科名を掲載したが，研究者により，属，種（亜種）についての見解が分かれることも多い。とくに，コウモリ・ネズミなどについては，研究者によって種として扱われているもの，亜種として扱われているものがあり，また，同一の学名が用いられていないこともよくある。コウモリ・ノネズミなどの種名確認には専門家に同定を依頼することが，わが国の哺乳類相を明らかにし，

※本稿は本学会主催の「環境アセスメント動物調査手法に関する講演会」（1991年6月18日火）における講演の概要である。

研究を進展させるためにも必要である。

古くはドブネズミ・クマネズミ，最近ではハクビシン・ジャコウネズミのように，知らない間に定着していた外来種があるし，関西を中心に分布を拡大しているチョウセンイタチ，北海道のアメリカミンク，岡山のヌートリア，鎌倉周辺のタイワン（ハイガシラ）リス，東京・千葉のマスクラットなど，飼養目的のものが逃げだしたものも，わが国に分布する哺乳類として扱われるようになった。さらに，最近のペットブームの中でさまざまな哺乳類が飼育されているが，これらの逃亡，あるいは処置に困って放すなどでのアライグマ・チョウセンシマリスの繁殖が確認され，タイワンザルについてはニホンザルとの交雑が心配されている。

鹿肉の供給を目的としての養鹿のためのトナカイなど，さまざまなシカが輸入・飼育され始めている。これらの逃亡などの危険性もあり，日本の哺乳類も種類は増えることになろう。

しかし，後に述べるように，調査・研究のためとはいえ，哺乳類の捕獲には環境庁長官の許可を必要とする。

調査の目的

哺乳類の調査をするに際し，どんな目的か・何を調べるかによって，その目的に最も適した調査方法をとらないといけない。その目的は，ほぼ次のようなものになろう。もちろん，これらの項目は相互に密接な関連をもっているので，主目的は一つに限られているにしろ，他の項目にも関心をもつことは当然である。そのことが，目的の調査結果をより正確，より客観的なものとすることになる。哺乳類全般についての調査法を述べたものとしては，沼田(1976)，伊藤・村井(1977)があり，参考になる。

(1) 生息確認

ある特定の種（たとえばカワウソ）の生息を確認するための調査と，ある地域にどんな哺乳類が生息するかといった哺乳類すべてを確認するための調査とがある。環境アセスメントなど多くは後者であるが，前者であってもその特定の種と，他の種との関係などから，すべての哺乳類について，生息の記録をとっておくことが必要である。

(2) 個体数(生息数)・密度推定

ある地域を対象に，どのくらいの個体数が生息しているか，単位面積あたりどのくらいいるかといったことは生息確認についで関心の高いものであるが，大きなクマから小さなネズミまでを同一の方法では推定できず，行動圏の広さ・習性などを考慮し，それぞれの種・グループごとに，推定法を変えないといけない。また，その生息数が増えているのか減っているのかといった個体数変動（動態）をも目的とすれば，長期にわたって継続して調査を行う必要がある。これについては後に述べる。

(3) 生態・生活調査

哺乳類の生態・生活，すなわち，行動様式・食性・繁殖・社会構造・疾患・寄生虫などについての調査。

(4) 環境との関連調査

植生のちがいでの哺乳類相のちがい，森林伐採・ゴルフ場造成，あるいは公園造成など環境改変での哺乳類相の変化などを把握する。

(5) 被害調査・保護対策調査

ツキノワグマ・ノウサギ・ノネズミなどによる森林，ハクビシン・サルなどによる果樹園，ヌートリア・イノシシなどによる水田の被害など，加害者の確認と被害量の推定，また，イリオモテヤマネコ・ツシマヤマネコなど，天然記念物に指定されている哺乳類の保護を目的とした調査などがある。

哺乳類調査のむずかしさ

哺乳類調査には昆虫類・鳥類などにくらべ，調査上いくつかのむずかしい問題がある。

まず，大形のものに特に顕著だが，行動範囲が広いこと，逆に面積あたりの個体数が少ないこと，さらに，夜行性のものが多いことから，直接観察（目撃）が容易でないことがあげられる。もともと，森林など人の近づきにくいところに生息していること，知能，とくに臭覚・聴覚が発達しているので，人が近づくと，これをいち早く察知して逃げてしまうのである。

生息・分布の確認には，捕獲して，まちがいのない証拠である標本を示すことが大切であるが，哺乳類については食虫目モグラ・トガリネズミ科，げっ歯目ネズミ科以外のものは捕獲は禁止されている。

もちろん，ネズミ類についても，沖縄のケナガネズミなど天然記念物に指定されているものもあり，これら生息地では注意を要する。

捕獲が必要な場合は，環境庁長官による学術研究のための捕獲許可が必要である。

生息の確認方法

(1) ききこみ

調査対象地域にある営林署・農業協同組合・森林組合関係者，さらには狩猟免許所持者(ハンター)・自然保護指導員，周辺居住者などから直接情報を得るとともに，それまでにだされている調査報告書，新聞記事，古文書などにより，情報を十分に把握しておくことが大切である。

(2) 狩猟統計

狩猟免許所持者による都道府県別の狩猟での捕獲数，有害鳥獣駆除による捕獲数が公表されているが，とりまとめた都道府県，そのもとのデーターを提供した市町村での統計があるはずなので，これらが閲覧できれば生息確認，捕獲数の増減からの生息数の増減（動態）についての情報が得られる。

(3) 分布図

1978年に実施された環境庁の第2回自然環境保全基礎調査（環境庁1979），いわゆる「みどりの国勢調査」での，動物分布調査報告書（哺乳類）は，ニホンザル・シカ・ツキノワグマ・ヒグマ・イノシシ・キツネ・タヌキ・アナグマの全国分布図を示している。これら，これまで公表されている分布図を参考にする。もちろん，新しい生息地の確認などもあり得るので，細かくはこれらの分布図に合致しないこともあり得る。

(4) 観察

哺乳類の多くは夜行性なので，観察は簡単ではないが，最近では性能のいい暗視双眼鏡なども利用できる。

(5) 声の確認

ニホンザル・キツネ・ナキウサギ・ムササビ・タイワンリス・ニホンジカなど声を出すものがある。声をきくことで生息を確認することができる。

(6) 写真撮影

赤外線自動シャッター装置での写真撮影，赤外線カメラでのモニターテレビの録画などがある。

(7) フィールドサインの確認

足跡（雨のあとの泥の上，河原の砂の上，新雪の上に残る）

けものみち

エサ場（シカ・イノシシ）

食べあと（食べ物，食べ方のちがい，残る歯形）

糞

巣穴・巣・トンネル（キツネ・リス・シマリス・ノネズミ・モグラ）

巣材とりのあと（ムササビ）

角こすり（シカ），眼下腺のこすりつけあと（カモシカ），樹木へのからだのこすりつけ（イノシシ）

毛

におい

哺乳類が残すさまざまな生活上の痕跡，いわゆるフィールドサインがある。これらはより容易に確認できるものであるが，直接観察，声の確認と同様，調査経験の有無により大きく精度が異なる。

バード・ウォッチングとともに，哺乳類のフィールドサインをさがすアニマル・トラッキングも盛んになり，BANG, P. & P. DAHLSTROM (1974), MUVIE, O. J. (1974)，ティンバーゲン，N. & E. A. R. エニオン (1977)，今泉(1984, 1985)，渡辺(1986)，安間(1985)などフィールドサインのガイドブックが次々と出版されている。

(8) 死体の発見

哺乳類の死体には，すぐにハエ・シデムシなどの昆虫がたかり，キツネ・テン・カラスなどが食べ，発見はむずかしいものであるが，生息の重要な証拠になる。市町村文化財保護担当者の許可を得て，毛皮・骨格などを残しておきたい。

(9) 捕獲

すでに述べたように，哺乳類の捕獲には環境庁長官の許可が必要であり，一般の哺乳類調査には，捕獲しての生息分布の確認は考えていないであろう。

捕獲に関した法令・手続きについては池田・花井（1988）が参考になる。

しかし，ネズミ類については，捕獲しての種名の確認が必要であり，トラップを仕掛けての捕獲が行われる。これには使用するトラップ（わな）の型式，トラップの配置・仕掛けかた，とくに，誘引するえさの種類などについて，経験を必要とすることが多い。数度にわたってトラップをかけてみること，えさを変えてみることが必要である。

捕獲法については，「哺乳類科学」に掲載されている「シリーズ　日本の哺乳類・技術編」の哺乳類の捕獲法，ウサギ（山田文雄・藤岡浩・鳥居春己・服部正策），ムササビ（馬場稔），コウモリ（毛利孝之），キツネ（中園敏之・土肥昭夫），イノシシ（仲谷淳），クマ（渡辺

弘之・野崎英吉），シカ・カモシカ（伊藤健雄・梶光一・丸山直樹），ニホンザル（小金沢正昭），ノネコ（伊沢雅子），イタチ（佐々木浩）などが参考になる。

食性調査

哺乳類が何を食べているかは，その生活を知るためにも重要な調査である。これには次のような方法が実行されている。

(1) 直接観察

肉眼あるいは双眼鏡・暗視装置を用いて摂食を直接観察し，何を食べているかを確認する。食植性のものなどについては，食べ物である植物同定の知識も必要とされる。

(2) 食餌選択の実験

飼育中の哺乳類に，さまざまな食餌を与えその嗜好性を確かめる。飼育中のノウサギに品種の異なるスギ・ヒノキを与えて，あるいは，飼育舎内に品種の異なるスギ・ヒノキを植え，ここにノウサギを放して好む品種・好まない品種を確認するといったことも行われている。

(3) 糞内容物分析

糞を採取・分析し，その食べものを確認することで，これまでツキノワグマ・ヒグマ・ホンドキツネ・キタキツネ・ツシマヤマネコ・イリオモテヤマネコ・ハクビシンなどで行われている。

よく消化されたものでは，植物の種名を確認しにくく，また，捕食性のものでも砕かれた骨格，毛では種名を確認できないことも多い。種子・骨格などの同定を専門家に依頼することが必要になる。

(4) 貯食物調査

シマリス・ナキウサギ・ノネズミなどは地中に食べ物を貯える。これをとりだして調べる。しかし，冬ごもりのために貯えたもの，その掘りだしは調査といえども心して行なう必要がある。

(5) 消化管内容物分析

糞内容物が消化された後で，種子・骨格・毛などを除いて，ほとんどそのかたちがくずれ，同定が困難なのに対し，消化管，とくに，骨内容物はほぼそのかたちが残っており，摂食物をより容易に確認できる。

狩猟により，あるいは有害鳥獣駆除などによって捕獲されたものについて，消化管内容物を調べておくことは奨められる。

イタチ・イノシシなどで調べられている。

(6) 食痕・食べ残し観察

哺乳類の生息確認の一つとして，食痕・食べあとの観察を述べたが，カモシカ・シカ・ノウサギなどについては植物に残る食痕・食べ残しから，それらの食べものを確認できる。しかし，これらが同一地域に生息している場合，シカかカモシカかの判断が困難なこともある。

動物の食性を植物食性（草食性 Herbivorous）と動物食性（肉食性 Carnivorous），そして雑食性（Omnivorous）に分けるが，実際には植物・動物両方を食べるものが多い。草食性のものも，地表の草本を主として食べる（Grazer, grass eater）と樹木の葉を食べる（Brouser, leaf eater）に分けたり，果実を食べるもの（Fruigivore, fruit eater），魚を食べるもの（Piscivoreus, fish eater），昆虫を食べるもの（Insectivorus），死体のみを食べるもの（Scavenger, carcass eater）などと呼んだりする。

行動圏調査

哺乳類の行動圏（Home range）となわばり（Territory）は一般に次のように定義されている。

行動圏：食べ物を探索し，睡眠・逃避・休息・交尾・育児のために日常活動する区域

なわばり：他の個体の侵入を許さず，もし，侵入があれば攻撃・排除する区域。

この範囲・面積は種により，また，地形・植生・食べもの供給量など環境要因により，さらには，個体群密度・捕食者の圧力・集団の大きさなどによって異なる。しかし，これが十分に把握できれば，その生態が明らかになるし，個体数推定にも利用できる。

この調査方法には次のようなものがある。

(1) わなかけ法

ネズミ類を主に，トラップをかけ，捕獲された個体にマークし，その個体の捕獲される範囲を確認する（上田，1978）。

(2) テレメーター法

発信器を装着・放逐し，受信器によりその位置を連続確認し，その行動範囲を知る方法。発信器が小型化し，また太陽電池などの利用から長期にわたっての調査ができるようになった。

わが国でもツキノワグマ・ヒグマ・キツネ・シカ・ムササビ・ノネズミなど，いろいろなものに装着され，その行動圏が調べられている（動物テレメトリーグループ，1977）。

(3) 色素法

ノウサギ・キツネなどに，エオシン・メチレンブルー・蛍光色素などの入った容器をつるし，少しずつもれるようにして，雪の上での行動を確認するといったことが行われている(柴田，1986)。

(4) 記号放遂（マーキング Marking 標識づけ）

サルの研究者によれば，見ただけで誰かわかるというし，カモシカ研究者であれば模様・角のかたちなどで個体を確認できるというが，その他のものについては標識づけが必要である。

個体のどこかに傷をつけることをmultilationというが，個体の活動に影響を与えず，長期間保持されるもの，再度つかまえなくても確認できることが望ましい。

① 指切り ノネズミ・モグラ・ノウサギに適用され，組合せによってたくさんのものに標識づけができる。

② 耳切り 耳の一部に傷をつける。ノネズミ・コウモリ類をはじめ，食肉類，偶蹄類など大形のものにも可能。

③ 尾切り

④ 毛刈り ハサミやバリカンで刈り取ったり，脱毛クリームで毛をとる。シマリスでは効果があったという。

この他，タッグ（Tag）や首輪（首環，Collar），コウモリの脚に足環（Ring）をつけること，毛染剤を用いての毛染めをしての標識などがある。

個体数推定

哺乳類のからだの大きさ・行動範囲・習性が大きく異なるだけに，同一の方法での推定は不可能で，それぞれの種にあわせた推定法を用いる必要がある。その推定法も，いずれも大きな労力を必要とし，また，一応確立された手法でも，他の地域でこれを適用する場合，手法を改変しなければならないこともある（林，1988)。

ここには，これまで哺乳類の個体数推定に適用された方法を簡単に述べる。

(1) 直接観察（Direct count）

① 密着直接観察法

ニホンザルなどでは，観察者がサルの群れに密着し，個体識別するとともに，個体数を数えている。その密度は青森県下北半島では5/㎢，鹿児島県屋久島では50/㎢といわれている（四手井・川村，1976)。また，奈良公園のシカでは繁殖期をすぎたあと，一般市民の協力を得て，一斉カウントが行われている。行動範囲が確定できないと，単位面積あたりの密度では表せない。

② ラインセンサス法

歩道・自動車道路などに沿って移動しながら，目視可能距離内の個体数を数える。鳥類調査ではよく用いられている。北海道で夜間，自動車で走らせ，眼が光るエゾシカを確認し，個体数が推定されたりしている。

③ 区画法

調査対象地域をいくつかに区画し，ここに調査員をはりつけてカモシカの個体数推定が行われた。区画を大きくすれば精度が落ちるし，区画を小さくすれば，調査員を多く必要とし，また，カモシカの行動を乱してしまうなどの問題がでる。

(2) 除去法（捕獲除去法）

ノネズミの個体数推定に用いられている。トラップを用い，数日間にわたって捕獲・除去し，その減少の度合から推定する(村上，1971;樋口，1989)。農耕地では200個体/haで被害が目立ち，500個体/haになると顕著になるという。北海道のエゾヤチネズミでは平常時2～5個体/haであるが，大発生時には200個体/haに達する。一定面積を柵で囲って，ノウサギを追い出して数えたりもしている。

(3) 糞粒・糞塊からの推定（Pellet census）

ノウサギ(平岡・渡辺・寺崎，1977)・シカ(高槻，1991)・カモシカ(森下・村上，1970)の糞粒を定期的に回収し，新しく付け加えられる糞塊数とノウサギ・シカ・カモシカの一日あたりの排出糞粒数から推定する。林床の状態により糞粒が見つけにくいこと，センチコガネなどによる糞粒の分解などを考慮する必要がある。

ノウサギでは植栽したスギ・ヒノキへの食害がでるような造林地で0.3個体/ha程度と推定されている。カモシカではため糞場での新しく付け加えられる糞塊から白山では6.0/㎢と推定されている。

(4) 雪上の足跡からの推定法（INTGEP法）

有雪時，それも新雪のみに適用できる。雪の上に残る足跡からノウサギ・キツネ・テン・カモシカなどの個体数推定が行われている。一定面積内に残る足跡の総延長と一頭の平均行動距離の比から試算するのであるが，これら哺乳類の一日の行動は積雪量・新雪量，地上にでている植生量・天候・雌雄などによって大きく異なることに注意がいる（野兎研究会，1974；林ほか，1966；高田ほか，1985)。

(5) 捕獲・再捕獲法（Capture-recapture method,

mark and release method

ネズミなどに対しトラップを等間隔に配置し，捕獲したノネズミにマークしたあと放ち，記号をつけたノネズミの再捕獲率から推定する（朝日，1980）。

(6) ヘリコプター・飛行機によるカウント

積雪時，ヘリコプターをとばし，カモシカ・クマの個体数の推定が行われている。直接観察法と基本的には同じである。カモシカと同時に，ヤマドリ・キツネなど他の動物の確認も可能だとされる（豊島ほか，1987；ABE, M, & E. KITAHARA，1989）。

ブナ林など落葉樹林での観察には効果があるが，ウラジロモミ・シラベなど針葉樹林などでは効率はよくない。動物が動くので発見が容易，広範囲の調査が行え，誤差が少ないといわれる。

(7) 捕獲統計

狩猟免許所持者が報告する捕獲統計から，その繁殖率が一定，すなわち，死亡率・出生率が一定，個体数は捕獲によっても平衡状態にあると仮定し，ツキノワグマなどの個体数推定が行われている。（朝日，1980；森下・水野，1970）

年齢推定

年齢構成をみることは，それら個体群の動態を知るための不可欠の項目である。将来の増加・減少を予測できる。このため，次のような年齢査定が行われているが，かなりの技術を要する。

ノウサギ……下顎第2前臼歯の縦断面にみられる年輪
クマ……犬歯縦断面にみる年輪
カモシカ……角にみられる年輪
シカ……毎年抜け落ちるが，角のかたちで数年間の年齢推定ができる。
リュウキュウイノシシ…下顎骨，乳歯と永久歯の萌出の状態

参考文献

ABE, M. and E. KITAHARA (1989) Practical application of an aerial driving census method to the Japanese serow and associated birds and mammals in rugged mountain forests. *Bull. For. For. Pro. Res. Inst.* **356**: 29–45, 200–206.

朝日　稔（1980）哺乳動物学入門　培風館

BANG, P and P. DAHLSTROM (1974) Collins guide to animal tracks and signs. Collins.

動物テレメトリーグループ編（1977）動物テレメトリーの現況，pp. 62.

林知己夫（1988）クマとカモシカ　―生息数推定の方法―．野兎研究会誌　**15**, 61–64.

林知己夫ほか（1966）動く調査対象集団に対する標本調査について(I)仕切法，ビュッフォン針の応用．統計数理研彙報　**14**: 63–86.

樋口輔三郎（1986）エゾヤチネズミの分布様式と除去法センサスにおける捕獲数の考察．野兎研究会誌　**16**: 31–40.

平岡誠志・渡辺弘之・寺崎康正（1977）糞粒数によるノウサギ密度の推定．日本林学会誌　**59**: 200–206.

池田　啓・花井正光（1988）野生獣類の捕獲と関連法令上の手続について．哺乳類科学　**28**: 2, 27–38.

今泉忠明（1984）アニマルトラック．自由国民社．

今泉忠明（1985）トラッキング調査法．ニューサイエンス社．

伊藤嘉昭・村井　実（1977）動物生態学研究法（上・下）古今書院．

環境庁（1979）動物分布調査報告書（哺乳類）．全国版 pp. 91　環境庁．

森下正明・村上興正（1970）ニホンカモシカの生態学的研究．白山の自然：276–321　石川県．

森下正明・水野昭憲（1970）ニホンツキノワグマの習性と個体数推定．白山の自然：322–329 石川県．

村上興正（1971）　野その調査技術 (2) 個体数推定法　植物防疫　**25**: 31–36.

MUVIE, O. J. (1974)　Field guide to animal tracks. Houghton Mufflin Co.

沼田真編（1976）自然保護ハンドブック，東京大学出版会．

柴田義春（1986）COC法によるキツネの行動追跡，野兎研究会誌　**13**: 11–14.

四手井綱英・川村俊蔵編（1976）追われる「けもの」たち．築地書館．

高田和彦ほか（1985）ビュッフォン針の原理に基づくカモシカの生息数推定．日本林学会誌　**67**: 418–420.

高槻成紀（1991）シカ密度既知の場所における糞粒法の適用例　―ハビタット利用推定法の可能性―　哺乳類科学　**30**: (2) 191–195.

ティンバーゲン・N & E. A. R. エニオン（今泉吉晴訳）

（1977）足跡は語る．思索社
豊島重造ほか（1987）航空機による野生獣の生息数推定法の開発と応用に関する研究 (2). 野兎研究会誌 **14**: 37–54.
上田明一（1978）野ネズミ発生予察法と防除法．日本林業技術協会
安間繁樹（1985）アニマル・ウォッチング．晶文社．
野兎研究会（1974）ノウサギ生息数調査法と被害調査法．日本林業技術協会
渡辺弘之（1986）アニマル・トラッキング．山と渓谷社

環動昆
第4巻　第1号：40−44（1992）

解　説

野鳥調査とデータ解析の手法

由井　正敏

森林総合研究所東北支所

はじめに

森林あるいは都市近郊林に生息する野鳥は、森林から様々の恩恵を受ける一方、害虫制御や種子散布など森林生態系の維持に寄与しており、森林と野鳥は相互依存的な関係にある。その野鳥は人間にとっても森林の保健林養機能の面で大切な要素となっている。貴重な種類だけでなく、普通の鳥が普通に生息する状態を維持することが、野鳥を対象とした環境アセスの主要目標となる。

生息密度の調査法

どのような目的の野鳥調査であれ、生息状況を把握し、保護管理を科学的に行うには、野鳥の種ごとまたは群集の生息羽数または密度を明らかにすることが前提である。ここではまず、生息密度の絶対的あるいは相対的調査法を述べる。

なわばり記図法

森林の鳥の生息密度を正確に求める一般的方法としては、繁殖期のなわばり記図法しかない。非繁殖期は鳥の生息域が流動的になり、また顕著なさえずりもないため、密度の調査法は世界的にも確立していない。

なわばり記図法は通常10〜30haの森林を対象に、100m間隔に蛇行状のルートを設定し、早朝にゆっくり巡回しながら、出現する鳥を地図上に記録していく。特にさえずり合いや争いの記録が重要である。これを10回位繰り返した後、鳥種別に記録をまとめる。これから図1に示すようになわばりの数が明らかになる。

ラインセンサス法

前記の方法は観察ルートを設定し、地図を作り10回前後調査してやっと1カ所の生息密度が得られる。またさえずりのない種類もあり、なわばり内の構成員がつがいとは限らないなどそれほど簡単ではない。そこでより簡便な手法として、林内をランダムに歩き一定観察半径内に出現する鳥を記録するだけで、繁殖期の密度が得られる方法を開発した。これは鳥種ごとの目立ちやすさまたは出会いの確率（以下記録率という）が、繁殖期にはほぼ一定であることを利用したものでラインセンサス法と呼ぶ。ライントランセクト法、ロードサイドセンサス法などと記録法は同じである。

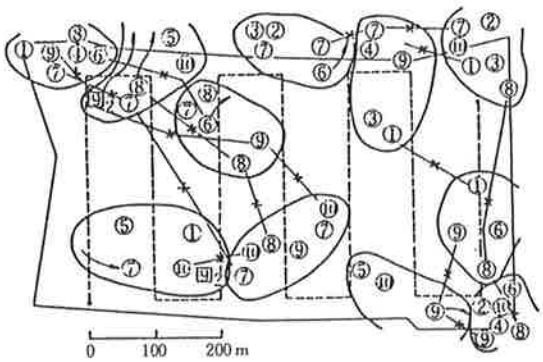


図1　キジバトのなわばり記図法解析例
（滝沢鳥獣試験地、1983）

記録率E_iは繁殖期のなわばり数D_iの明らかになっているいくつかの地域で求めた。つまりある調査区域内である鳥種iがn_i羽記録されたとすると、$E_i = n_i/D_i$で記録率が得られる。逆に$D_i = n_i/E_i$である。密度はD_iを調査区域面積で割ってなわばり数で表わされる。調査区域面積は歩行距離に観察半径×2を乗じて求める。歩行距離は地図か万歩計または歩数×歩幅で求める。一定条件下の記録率の例を表1に示す。一定条件とは公式日の出2.5時間後を中心とするセンサスで、好天下、時速1.5km、観察半径50mで実施したものである。記録率は鳥種のほか1日の時刻、天候、歩行速度、観察半径、林

＊本稿は本学会主催の「環境アセスメント動物調査手法に関する講演会」（1991年6月18日火）における講演概要である。

表1　一定条件下のラインセンサス記録率

鳥種名	記録率(%)
キジ	44.2
キジバト	58.4
ヒヨドリ	150.3
カワラヒワ	66.0
コムクドリ	90.6
ハシブトガラス	168.3
ウグイス	98.2
ホオジロ	144.5
シジュウカラ	109.8
スズメ	101.0
ムクドリ	113.2
オナガ	163.2
ハシボソガラス	184.8

注　上段は主に滝沢鳥獣試験地における実測値。農村地域では、この数値より相対値で8%上がる。下段は数量化Ⅰ類による推定値。

表2　数量化Ⅰ類による鳥種別記録率推定のスコアー表

アイテム	カテゴリー	スコアー
地鳴	無	13.40
(強さと頻度)	小	27.01
	中	64.16
	大	95.78
	特大	145.73
さえずり	無	0
(強さと頻度)	小	18.52
	中	50.49
	大	75.40
生息林相	疎開高林	0
	若齢林	5.17
	幼齢林	26.78
	中密高林	−11.72
	高密高林	−23.47
体重・行動圏と移動速度	小	0
	大	12.27

$R_0 = 0.980$

相、観察者能力などの条件で変化するが、その基準化法は明らかにしてある(由井1974,'78〜'89)。記録率の時刻変化は日の出2.5時間後を100として，日の出時約120，4.5時間後85，6.5時間後78，8.5時間後〜10.5時間後72，12.5時間後75，14.5時間後83と各鳥種とも同様に変化する。天候条件では，晴れまたはうす曇りの時の記録率を100として，本曇り時は85，小雨時は70，並雨時は60などとなる。風の強い時はセンサスは行わない。

歩行速度(X)による記録率(Y)は，時速1.5㎞の時を100として，一定距離当たりは$Y=(68.67/X)+54.22$，一定時間当たりは$Y=45.78+36.146X$で換算できる。観察者については，普通の視聴力を持ち，鳥種の識別とセンサスに熟練していれば，記録率に大差はないことがわかっている。

鳥種別の記録率はこれまで45種について明らかにしてあるが，未調査の種の記録率については，多変量解析法(数量化Ⅰ類)で推定できる(表2)。これは鳥種別の記録率に影響する4つの特性(アイテム：地鳴の頻度と強弱，さえずりの頻度，生息林相条件，体や行動圏の大きさないし移動速度)を選び，各々を表2のカテゴリーに分けて，45種のデータを当てはめて計算し，スコアーを求めたものである。未調査種の記録率はその鳥の属する各カテゴリーを定め，該当するスコアーを合計して得られる。表1の下段にはそのようにして推定した例を示してある。

以上のような手法で得た記録率を用いて推定した密度は，通常の統計的方法で比較分析を行う。こうした手法と別に，鳥種別ではなく始めから群集単位に生息密度を求めるラインセンサス法がある。これは，なわばり記図法等で得た15ha当たりの全鳥種合計の生息数(Z)と，基準条件のラインセンサス1時間当たり(15haをカバー)の記録数(n)の間に良い相関があることを利用したもので，以下の式で推定できる。これも繁殖期のみに適用できる。

$$Z = 2.45\,n - 11.12$$

この手法で得た群集の密度や組成は，地域間のマクロな比較分析に用いることができる。

プロットセンサス法

対象林地が小規模で分散しているとか，ヤブがひどくて歩きにくい，聞き取りにくいなどの場合は，ラインセンサス法は不向きである。そうした場合は少し進んでは立ち止まり，一定観察半径内に出現する鳥を記録していくプロットセンサス法が適している。本法による群集単位の記録個体数はその地域の群集密度と良い相関を示す。

観察半径50mの円形プロットにおける全種合計記録個体数の平均値Pから，15ha当たりの群集密度Zを推定する式を，待機分数別に表3に示す。Pは1プロット当たり2分間待機し，15プロット程度調べれば，十分精度の高い平均値が得られる。早朝から10時位の間は記録効率は変わらない。それ以降は70%程度に落ちる。熟練者であれば観察者間の誤差はでない。

鳥種別の個体数密度Z_iを2分間待機のプロットセンサ

表3　観察半径50mのプロットセンサス法から15ha当たり鳥類群集の密度を推定する式

1分	Z = 43.47	P_1 + 4.29
2	33.44	P_2 + 4.29
3	28.98	P_3 + 4.29
4	24.85	P_4 + 4.29
5	22.65	P_5 + 4.29
6	21.74	P_6 + 4.29
7	20.22	P_7 + 4.29
8	19.41	P_8 + 4.29
9	18.34	P_9 + 4.29
10	17.89	P_{10} + 4.29

ス法で求める式は，

$Z_i = (13.66\,P_i + 6.29)\ 200 / E_i$ である。これらの適用も繁殖期に限定される。

非繁殖期については，一定条件下のラインセンサス法，あるいはプロットセンサス法で相対的な密度の把握を行って，比較分析するしか方法はない。

生息種数の調査法

各種のアセス調査においては，生息種数を問題とすることが多い。一般の生物と同様，森林の野鳥でも対象面積が大きくなるにつれ，生息種数は増加する。調査時間や調査面積が違うデータをそのまま比較しても意味はない。単位面積当たりの種数を厳密に比較するためには，同一の手法，基準で十分なデータを収集する必要がある。またはそのようにして集めたデータを，既存の種数－面積曲線と比較する。

15haをカバーする早朝のラインセンサス1回，または半径50mのプロットセンサス15個では，そこに生息する鳥種の60%位しか記録されない。対象地域の繁殖期の全生息鳥種を記録するためには，全域をカバーするルートで5回位のセンサスが必要である。それでも夜行性の種は別途調査が必要となる。非繁殖期は野鳥が移動しやすいため，全生息鳥種を確実に把握するのはむずかしい。

樋口ら（1982）は，都市公園の繁殖鳥類群集について，面積Ahaと種数Sの間に以下の関係式を得た。

$$S = 3 + (55/1 + e^{2.68 - 0.83 \log A})$$

また筆者（1988）は林相タイプ別の繁殖期の種数－面積曲線を明らかにした。冬期については平野ら（1989）の報告がある。

群集の類型解析

本項以下はデータ解析の手法あるいは解析結果を説明し，実際のアセス調査の参考に供する。

鳥類群集の豊かさ，構成内容を比較検討するためには，まず群集の類型化をはかり，類型内，類型間でさまざまの分析を行うのがよい。鳥類群集は地域，林相，季節によりかなり定まった類型タイプを示す（由井ら1976～'87）。また成長途上の若い林を除き，その類型は長年にわたり安定している。

群集の類型化あるいは相互間の比較のためには，各種センサスで得られた群集データを用いて，クラスター分析を行う。ホイッタカーの指数（$Ia = \Sigma \min(A_i \cdot B_i)$，由井1988参照）や，木元（1976）の$C\pi$などの類似度をまず求め，次に平均連結法などの系統樹化手法でデンドログラムを得て，類似関係のクラスター分析を行う。この場合センサスで得られた生の記録個体数を用いて計算してかまわない。

図2には日本全体の繁殖期の各種林相の鳥類群集のデンドログラムを示す。図には18タイプが示されているが，

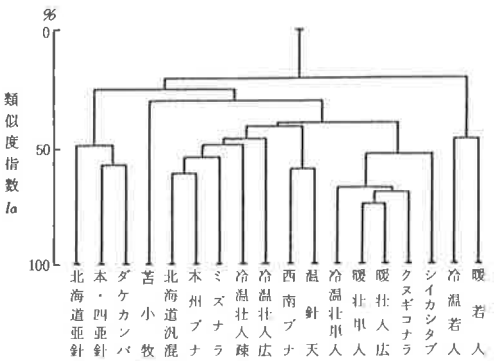


図2　繁殖期の鳥類群集の類似度デンドログラム

もとは200カ所ほどのセンサスデータからクラスター分析で類型化したものである。このなかでは，冷温帯単純人工林に広葉樹が混入すると，ブナ，ミズナラ等の天然林のものに類型が似てくることが注目される。

表4には高山帯まで含めて，各種林相タイプの繁殖期の優占3種を示した。センサスデータの優占種構成を見るだけで，それがどの群集に近いかがわかる。都市近郊林だと，スズメ，ドバト，ムクドリ，カラス類などが多く記録され，表4とは異なった構成になる。逆にそれらの俗化鳥，あるいは都市鳥の多さで調査地域の俗化度が推し量れる。

表4　繁殖期の類型別優占種

番号	類型名(略称)	鳥類群集名 1位	2位	3位
1	北・ハイマツ岩礫	ビンズイ	ノゴマ	カヤクグリ
2	本・〃	カヤクグリ	イワヒバリ	ビンズイ
3	ダケカンバ	ルリビタキ	ウグイス	メボソムシクイ
4	北・亜寒帯針天	ヒガラ	マヒワ	コガラ
5	本・四・〃	ヒガラ	メボソムシクイ	ルリビタキ
6	北汎針広混	アオジ	ヒガラ	キビタキ
7	苫小牧地方	センダイムシクイ	ホオジロ	アオジ
8	本・中北ブナ	シジュウカラ	ヒガラ	キビタキ
9	西南ブナ	ヒガラ	ゴジュウカラ	コガラ
10	ミズナラ	キビタキ	センダイムシクイ	シジュウカラ
11	温針天	ヒガラ	シジュウカラ	ヤマガラ
12	クヌギ・コナラ	ヒヨドリ	シジュウカラ	ホオジロ
13	シイ・カシ・タブ	ヒヨドリ	ヤマガラ	シジュウカラ
14	冷温壮単人	ヒヨドリ	ホオジロ	ヒガラ
15	冷温壮人・広	コルリ	ヒガラ	シジュウカラ
16	冷温壮人・疎	アオジ	ヒガラ	アカハラ
17	暖壮単人	ヒヨドリ	ホオジロ	カワラヒワ
18	暖壮人・広	ホオジロ	ヒヨドリ	メジロ
19	冷温若人	アオジ	ウグイス	ホオジロ
20	暖若人	ウグイス	ホオジロ	モズ

群集の密度・種数の比較

一定の基準（ここでは1時間または15ha当たり）に換算されたセンサスデータは，表5と比較することによって，鳥類群集の豊かさが判断できる。本表の数値は全国の平均値である。表の基準センサス記録数nは，基準条件下における1時間ラインセンサスの全種合計記録個体数である。その他は15ha当たりの値で，種数は全数推定値である。多様度指数は種数と相関があり（木元1976），よほど基準を揃えないと正確な比較はむずかしい。

本表から明らかなように，人工林でも広葉樹が混じると鳥類群集は密度，種数が多大になる。つまり鳥類群集が豊かになる。人為が多く入り特にモザイク化した地域では，一斉林地域より鳥類群集の密度は3割位増加する。ただし，そうした地域では純森林性の鳥が減少し，林縁性の鳥が多くなる。

広葉樹が混入した人工林で鳥類群集が豊かになる原因は，一般に広葉樹の方が餌となる昆虫類や木ノ実が多いこと。営巣場所が多いこと。階層構造が複雑になってさまざまの鳥種の生活空間が提供されることなどによる。

鳥類群集の豊かさの比較はこれら林相間のほか，標高，季節，開発の程度などの要因についても行える。標高による種数の垂直分布は，本来種数－面積曲線の法則に乗

表5　繁殖期の鳥類群集の林相タイプ別密度，種類数および多様性

林相タイプ	基準センサス記録数 n	15ha当たり生息数 D	15ha当たり生息種類数 S_r	多様指数 H′
A 広葉樹低木林	25.37±7.38	51.04	14.79	2.607
B シイ・カシ・タブ林	62.00±15.76	140.78	25.56	3.366
C クヌギ・コナラ林	32.82±8.64	69.29	21.09	3.125
D ミズナラ林	47.51±7.25	105.28	28.73	3.666
E ブナ林	45.07±3.76	99.30	23.63	3.247
F ダケカンバ林	17.23±6.03	31.09	14.14	2.776
G 北海道汎針広混交林	48.40±11.14	107.46	26.48	3.469
H 温帯針葉樹天然林	40.49±8.23	88.08	23.64	3.117
I 亜寒帯針葉樹林	52.28±8.18	116.97	18.58	2.867
J ハイマツ林	26.03±6.10	52.65	11.70	2.405
K 高山岩礫帯	9.89±2.21	13.11	8.27	1.607
L 幼齢人工林	11.74±4.35	17.64	10.15	2.278
M 暖帯・暖温帯若齢人工林	25.03±5.89	50.20	11.26	1.872
N 冷温帯若齢人工林	33.15±7.11	70.10	18.18	2.942
O 暖帯・暖温帯壮齢単純人工林	29.90±4.05	62.14	17.79	2.803
P 〃 壮齢人工林（広葉樹混林）	42.51±6.93	93.03	21.44	3.105
Q 冷温帯壮齢単純人工林	33.07±11.10	82.15	20.74	3.138
R 〃 壮齢人工林（広葉樹混交）	55.73±22.41	127.87	29.05	3.759
S 〃 〃 （疎開）	55.12±15.05	121.47	26.45	3.547

注）Aは樹高6m以下、Lは2m以下、M・Nは10m以下の林。
P，Rは広葉樹が林内上中層に植被率で33%以上、または上層で5%以上下層に67%以上混入した林。Sは林内が明るく下層にのみ広葉樹が33%以上混入した林。多様度指数H′はH′＝－Σpi $\log_2$ piで，piは優占度。

っとって低地ほど多くなるはずであるが，現実には有史以来の開発により中膨らみの状態になっている。非繁殖期の正確なセンサス法が確立していないので，詳しい分析はできないが，相対的センサス法で夏と冬の鳥類群集の豊かさを比べると，北方，高山あるいは若い林は冬へ向けての減少が大きい。一方，南方（特に常緑広葉樹林）あるいは里山の林は冬へ向けて豊かになる。つまり暖地や里山のよい条件の林は，森林鳥類の越冬環境として大事なことがわかる。

鳥種別の分析

アセス調査においては，これまで述べた群集を主体とする普通種の分析よりも，貴重種など個別の鳥種を主な対象とすることが多い。それもやむを得ない場合もあるが，少なくとも結論として「これこれの貴重種は開発予定地周辺にはまだ沢山生息するので，この地域の開発が本種の生息に及ぼす影響は少ない」とか，「本地域には該当する貴重種が生息しないので開発は許容される」といった報告の仕方は採らないことを希望する。森林の開発に当たっては，普通種も貴重種も含めて，生態する構

成する重要な生物と位置づけ，彼らの生息地の保全との調和を図る必要がある。

貴重種あるいは希少種としては，天然記念物，特殊鳥類，ワシントン条約記載種，レッドデータブック記載種，主要野生生物，分布限界種などが調査対象になる。

野鳥保護、環境保全の指針

これまでの論議および実態解析などを踏まえ，森林ないし都市近郊林における野鳥保護を主体とする環境保全の指針をまとめておく。

① 貴重種，希少種，天然鳥類群集は第一優先に保護，保全を図る。

② あらゆる森林地域に豊かな鳥類群集を維持する。その群集類型はもとの天然林のものに類似させる。

③ 都市近郊林では生物群集の豊かさを維持しつつ，風致景観を改善する。

②，③で豊かな生物群集が形成されれば，森林生態系の健全かつ安定的な維持にも寄与できることになる。こうした指針に沿った都市近郊林の公益的機能の評価法と維持管理法については，1986～'90年に実施された環境庁特別研究「都市近郊樹林」の報告書（農林水産技術会議発行の研究成果シリーズ）に印刷中である。

要　約

森林性の繁殖鳥類群集の鳥種別あるいは群集単位の密度調査法として，なわばり記図法，ラインセンサス法，プロットセンサス法を説明した。また生息種数の調査法を述べた。非繁殖期についてはまだ正確な密度調査法がないので，基準を揃えた上記のセンサス法で相対値を比較するしかない。データ解析の手法として，群集の類型化，密度，種数，多様度等の比較分析法を述べ，日本各地の林相タイプの実例を掲げた。鳥類群集の豊かさを比較分析し，豊かさの原因を明らかにした。その他の要因による鳥類群集の比較分析法，貴重種等の扱いを述べた。これらを総合して，森林ないし都市近郊林における野鳥保護，環境保全の指針，方策を明らかにした。

引用文献

樋口広芳（1982）森林面積と鳥の種類との関係．Strix 1．

平野敏明ほか（1989）冬期における森林面積と鳥の種類との関係．Strix 4．

木元新作（1976）動物群集研究法 I．共立出版，192pp．

由井正敏（1974）繁殖期における小鳥類の生息数調査法に関する研究．林試研報 264．

由井正敏・鈴木祥悟（1976～'87）森林性鳥類の群集構造解析 I～IV．山階鳥研報．

由井正敏・鈴木祥悟（1978～,89）森林原野性鳥類のラインセンサス法の研究 I～IX．山階鳥研報．

由井正敏（1988）森に棲む野鳥の生態学．創文，227pp．

環動昆
第4巻　第1号：45－55（1992）

解　説

生物指標の考え方とデータ解析法

－身近な生きもの調査をめぐる一考察－

徳丸　久衛

元環境庁自然環境調査室

環境庁が実施している自然環境保全基礎調査の中に，「身近な生きもの調査」と呼ばれる調査がある。正式には「環境指標種調査」と称し，主として都市周辺の自然の現況や改変状況を，特定の指標種の分布を基に把握しようとするものであるが，調査者が一般国民のボランティアであるところから，単なる行政上の調査に留まらず国民の自然とのふれあいを増進するという役割も兼ねている。

本稿では，まず1990年に実施されたこの調査の内容と結果を，実施した側の視点から，特定の都市周辺における1984年の調査結果との比較考察を含めて紹介し，その後いわゆる身近な生きものの保護に関する若干の私見を述べてみたい。

身近な生きもの調査の概要

環境庁が1990年（平成2年）に実施した「身近な生きもの調査」は，広く一般の自然愛好家のボランティア参加によって，居住地周辺に生息するトンボやツバメ等のいわゆる「身近な動植物」のうち「環境指標種」となる48種類の分布や生態を調べ，国土や身近な自然を診断しようとするもので，1984年（昭和59年）以来2度目の実施となった。今回は，全国から123,346名の参加を得て，865,294件の情報が寄せられ，64,902メッシュ（3次メッシュ：約1km×1km）が調査された。

寄せられた情報をもとに48種類の「身近な生きもの地図」を作成したところ，全国規模での身近な生きものの衰退や，外来種の繁殖拡大の現状が把握された。

また，特に大都市周辺での状況を詳しくみたところ，河原，草原，清流の減少，土地利用の改変の進行や，都市内に新たに侵入しつつある動物の現状等が具体的に把握された。

但し，本調査は自然の診断が目的とはいえ，身近な自然環境の現状と改変状況の概要を把握し，国民に広く周知させると共に，自然環境保全のための行政に反映することが根本的な意図であり，環境影響評価等の判断材料を得ることは念頭にない。従って，学術的な側面は必ずしも厳密ではないことに留意されたい。

調査方法

環環庁が選定した環境指標種となる48種類の動植物を，90年の4月1日から11月30日までの間に「てびき」を参照にして確認し，その情報を「5万分の1メッシュ地形図」で読み取った調査地域のコード番号とともに「調査票」に記入，これを環境庁に送付する。環境庁ではこの「調査票」を収集し，データをコンピューターに入力し，集計，解析した。

調査方法の検討にあたって環境庁では，こうした調査に詳しく，かつ調査の実施をバックアップしていただける有識者に依頼して，「自然環境保全基礎調査検討会　環境指標種分科会」を設置した。分科会の委員は表1のとおりであるが，調査の性格から，学術面の有識者のみならず，自然にかかわるボランティア活動等に実際に携わっ

表1

自然環境保全基礎調査検討会　環境指標種分科会
大野　正男（東洋大学教授）
大場　秀章（東京大学助教授）
勝山　章子（自然観察指導員）
金井　　裕（財団法人日本野鳥の会主任研究員）
土屋　桃子（エディトリアル・プロデューサー）
浜口　哲一（平塚市博物館学芸員）
林　　公義（横須賀市自然博物館学芸員）
山瀬　一裕（財団法人日本野生生物研究センター常務理事）
吉田　正人（財団法人日本自然保護協会総務部長）

＊本稿は本学会主催の「環境アセスメント動物調査手法に関する講演会」(1991年6月18日火）における講演の概要である。

ておられる方や広報関係にユニークな視点をお持ちの方を含めてお願いしたので，その職種は大学教授，博物館の学芸員，NGOの方まで広い範囲に渡っている。さらに，環境庁職員のみでは専門的な知識や，情報処理技術を必要とする作業に限界があるため，㈱日本野生生物研究センターに必要な作業を委託することとし，以来この調査内容に係る準備は主にこの3者で進められた。

「てびき」は，ボランティアが調査方法を理解し，調査対象種を同定するのに不可欠であり，参加者全員への配布を前提とした。対象動植物の説明における内容的な工夫としては，カラーの生態写真の掲載，対象種の形態の説明のみならずいつ頃どの様なところで見つかり易いかという解説，今までにわかっている日本における分布状況等を載せることとした。また，調査対象種をコース分けした関係から，各コース別に調べ易いよう配慮している。「5万分の1メッシュ地形図」は市販の5万分の1地形図に縦横20等分した区画線を印刷したものであるが，その作成は，国土地理院と㈱日本地図センターにお願いし，環境庁が買い取った。残念ながら市販はされていない。メッシュコードの縦横の読み取りが不要となるように各区画毎にメッシュコードの下2桁が印刷されている。「調査票」は，コース別かつ調査メッシュ別に，調査対象種が「見つかった」「見つからなかった」「わからなかった」の三者択一で情報を記入するようになっている。本調査で収集した情報は基本的にある特定のメッシュ内に，ある特定の対象種が一度でも見つかったか否かということであって，個体数，発見の頻度，発見の時期，繁殖の有無等は若干の例外を除いて考慮していない。

調査期間は，対象種選定との関連もあって様々に議論のあったところである。特に冬期の調査を行うかどうかが問題となったが，結局は冬に生物の卵やサナギを見つけることは興味はあるが一般の調査としては若干専門的であることと，行政の会計年度の都合から，調査は4月から11月にかけて実施し，12月に調査票回収，1月から3月に集計という計画となった。

詳しくは述べないが，実質的に最も困難だったのは，ボランティアの公募，調査3点セット（てびき，地図，調査票）の送付，調査票の回収であった。

ボランティアの公募は，新聞，雑誌，テレビ，ラジオ等全国的な広報媒体の他，地方公共団体の多大な協力によって実施したが，この種のニュースを広く一般の国民に知らせることの困難さは並み大抵ではないと認識した。調査開始後も，一般の方から「参加したかったのに知らなかった。P．Rが足りない。」との指摘を多く受けた。要は何度も繰り返すことであろう。

調査3点セットの送付，調査票の回収は環境庁，㈱日本地図センター，㈱日本野生生物研究センターの3者で周到な役割分担と手順を組んだつもりであったが，結局は人海戦術となった。特に送付はしばしば遅れがちとなったが，こうしたことはボランティアの志気にも影響したので，重要な反省事項となった。

さらに，調査期間中は各地で本調査を念頭にした自然観察会を随時実施して，一般の関心を喚起すると共にボランティアの便宜を図った。NTTでは，本調査への協力の一環として，調査対象動植物の鳴き声を季節毎に聴けるテレフォン・サービスを全国的に実施した。

調査対象種

「身近な生きもの調査」における調査対象種の選定にあたっては，そもそも本調査の目的は「国土や身近な自然の診断」であり，調査対象種の選定はまずどういった動物あるいは植物がどの様な自然環境の指標となり得るのか，そして今何を診断すべきであるのかという本質的な問題とともに，調査員は一般国民のボランティアであり，手法も全国レベルの情報収集であることを考えた場合，1キロメッシュレベルの分布調査に限られるといった方法論を併せて検討しなければならなかった。

指標となる生物についての個別の研究・調査の成果は，過去かなりの数発表されているが，余りに専門的でなくかつ一般的に紹介したものとして㈱日本自然保護協会の編集・監修による「指標生物」(思索社)，松中昭一編の「図説　環境汚染と指標生物」(朝倉書店)，㈱環境情報科学センター編の「自然環境アセスメント指針」(朝倉書店)等がある。これらの文献を見れば実に多種多様の動植物が環境の指標生物として考えられていることが知れる。

従って，調査目的に応じた指標生物の選択が重要となるが，「国土や身近な自然の診断」を目的として指標生物を選択した例としては，全国レベルでは第2回自然環境保全基礎調査における動物分布調査（環境庁：1983），第3回自然環境保全基礎調査の環境指標種調査（第1回身近な生きもの調査）（環境庁：1985），水生生物による水質調査（環境庁）等がある。また，地域レベルでのものは個人の研究成果を含めればたくさんあろうが，ボラ

ンティアによる分布調査に限って例をあげれば，茨城県全域を対象に動物25種，植物25種の計50種について３次メッシュ単位の分布を調査したもの（茨城県：1991），動植物25種について金沢市全域を対象に分布と併せて生息数，生息環境を調査したもの（金沢市：1988），動植物30種について町，字単位で分布を調査したもの（西宮市），ゲンジボタルに限って市全域の分布及び生息状況を調査したもの（宇都宮市：1990），大阪府下を対象に地域の高校生が調査員となってオオバコ類，カタバミ類，ツバメ類，カワニナ類等の分布を調査したもの（指標生物調査委員会：1988），横浜市緑区を対象に市民のボランティアが独自に調査を行ったもの（緑区・自然を守る会：1991）等がある。

以上の文献や調査例はそれぞれ示唆に富むものであり，調査対象種の選択枝がたくさんあるように思われるが，多くの生物指標はそれぞれの道の専門家やある程度のレベルの人が定められた手法で調査する場合，あるいは限られた地域で行う場合のみ信頼性が確保されることがほとんどで，本調査の様に，全国の素人から専門家まで様々なレベルの人が共に調査する場合は話が別で，選択枝はきわめて少なくなってしまうのが現実である。

結局は何等かの自然の環境を指標するとされる動植物の中から，「誰でも知って」おり，かつ全国的に分布するものを対象とし，現認の有無の情報を収集するのが妥当ということになる。

しかしながら，「誰でも知っている」動植物というのも実は希薄な概念である。例えばタンポポ，スギナ（ツクシ），ツバメ等といえば万人が知るものと思えるが，実は「タンポポ」は在来タンポポが数十種，外来２種（しかも最近在来と外来の雑種もあるという。）の総称であるし，スギナはよく似たイヌスギナがあるし，ツバメも良く観察しなければ見間違う種がいくつかある。

こうした点に留意して，ここまでは見分けてもらわないと分布の変化の把握によって，具体的に「自然の診断」を行うことはできないというものを選定し，更に，できる限り調査者が見分け易いように工夫したのが表２の調査対象種一覧である。ここには，それぞれの種の分布が示すと期待される自然の状況をあわせ示してある。動物32種，植物16種の計48種であるが，調査者が同定の能力，興味，季節に応じて調査できるようコース分けされている。前述のとおり冬の調査は設定されていない。また，

表２　第２回「身近な生きもの調査」調査対象種　48種

コース名	種　名	特筆すべき指標性
春の花コース	スギナ	表土の改変
	オオイヌノフグリ	明治時代の帰化植物の動向
	キブシ	藪，マント群落
	ニリンソウ	雑木林
	カタクリ	雑木林
秋の花コース	セイタカアワダチソウ	戦後の帰化植物の動向，河原，空地
	ヒガンバナ	背が低く広い草原，土堤
	カラスウリ	藪，マント群落
	ミズヒキ	林縁，竹藪
	オミナエシ	背の高い乾性草原
鳥の声コース	ヒバリ	背が低く広い草原
	アオバズク	巨樹
	カッコウ	高原，草原
	オオヨシキリ	背の高い湿性草原
虫の声コース	アオマツムシ	近年急速に分布を拡大している帰化動物
	クマゼミ	北上傾向
	ヒグラシ	樹林
	ニイニイゼミ	クマゼミとの競合，樹木
	マツムシ	明るく乾いた草原
タンポポコース	アカミタンポポ	土壌のアルカリ化（舗装の拡大）
	セイヨウタンポポ	表土の改変
	在来タンポポ	昔ながらの土地利用，草原，土堤
	シロバナタンポポ	分布状況
ツバメコース	イワツバメ	都市へ進出
	ツバメ	都市での減少
	コシアカツバメ	減少傾向
水辺の動物コース	カワセミ	子魚の多いきれいな水辺
	コサギ	北上傾向
	ゲンジボタル	清流
	ヘイケボタル	清流，きれいな止水
	サワガニ	清流
淡水魚コース	オオクチバス	近年急速に分布を拡大している帰化動物
	ウナギ	川，池，湖沼，水田
	ヨシノボリ	川，池，湖沼，用水
	ウグイ	川，池，湖沼
夏の虫コース	ギンヤンマ	池，沼
	オニヤンマ	流水
	アオスジアゲハ	樹林
	オオムラサキ	雑木林
	カブトムシ	雑木林
南の島コース	カラスバト	常緑広葉樹林
	リュウキュウツバメ	水辺，畑
	シロガシラ	林
	キノボリトカゲ	緑
	オキナワチョウトンボ	水生植物の豊富な水辺
	アフリカマイマイ	外来種の侵入
	サクラツツジ	常緑樹林
	リュウキュウシャジン	原野

※　　は第１回との共通種

各コースは調査対象種が何か誰にでも記憶できる程度の数にとどめてあるのも特徴である。

検討段階では，調査対象種としたもの以外にも多くの動植物が候補として挙げられており，こうした調査における指標種のリスト作成が今後の環境庁の宿題として残された。調査経験を重ねることにより，どの種がこうした調査において指標として実際に有効かどうかが実証され，判明してくるものであり，今後ともできるだけ多くの種でデータを蓄積していくべきである。

また，若干ではあるが，現認の有無の他にコサギのコロニーの有無，ヒガンバナの開花時期等の情報収集を試みた。これは，「身近な生きもの調査」が2回目ということもあって，ボランティアの中には方法等もよくわかっており現認報告のみでは飽き足らない調査者も多いのではないかということと，将来的には高度な調査を大規模に実施する下地造りも必要との考えからである。

さらに，「身近な生きもの調査」において海産の生物は，必ずしも一般の国民にとって「身近か」とは言えないことから対象種としては考えなかったが，別途「海のいきもの調査」を実施して海の自然環境についても同様の手法により全国の状況把握を試みている（環境庁：1991）。

調査結果について

調査結果については環境庁がまだ最終の報告書を取りまとめていないので，調査対象種全てについての分布状況や，総合的な結果を述べられないのは残念であるが，いくつかの種について，全国レベルあるいは地域レベルで興味ある結果が公表されているので紹介しておきたい。

まず，全国的な傾向として，3点ある。

第1は，都市部における分布の減少が著しい種としてゲンジボタル，オオヨシキリ，ヒバリ，在来タンポポが挙げられることである。寄せられた情報から，これらの種が「見つかった」という回答が一つでもあったメッシュを1点として日本地図に落としてみると，84年の調査に比して著しく分布が減少しているのがわかる。この傾向は，調査者が多いということもあり，特に都市部において顕著に傾向を表している。在来タンポポの分布状況を例として図1に示しておく。

第2は，本来郊外の良好な自然地のみに生息していたが，近年都市内部への進出が目立つ動物としてカワセミとイワツバメが挙げられることである。これも寄せられた情報から，これらの種が「見つかった」という回答が一つでもあったメッシュを1点として日本地図に落とし

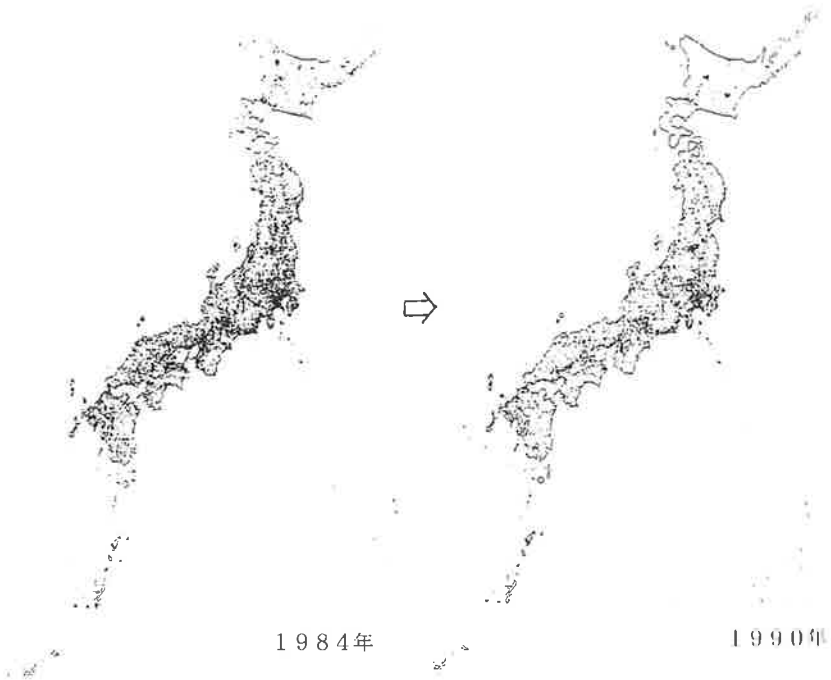


図1　在来タンポポ

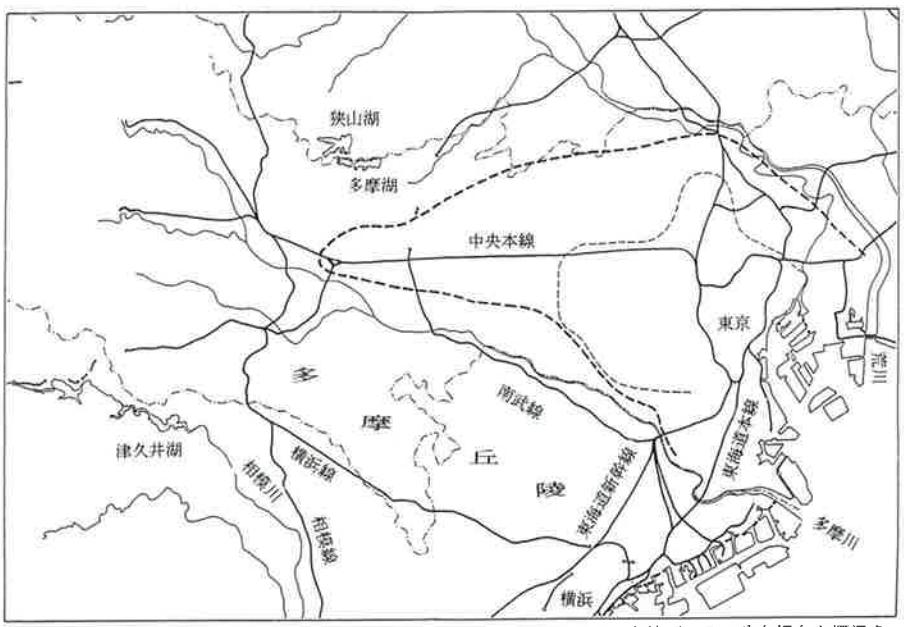
てみた結果である。カワセミはもともと郊外の丘陵地等にある自然の崖地に営巣していたものが，開発によってやむなく都市内に残る崖地，例えば大きなゴミ捨て穴や狭い水路の壁等に営巣するようになったものと推測されるが，都市内の河川，池等の水質が良好になってカワセミが捕食する小動物が増えたことも大きな要因であろう。イワツバメは本来山間部の岩場に営巣していたが，近年倉庫や橋桁等人工物にも営巣するようになり，都市内に分布を広げている。

第３に，外来種の進出がある。上記と同様「見つかった」情報を日本地図に落とすとオオクチバス（ブラックバス），セイタカアワダチソウ，アオマツムシについてはその分布域が全国に及んでいるのがわかる。オオクチバスは釣りの対象魚として人気があり，1925年に米国から移入されたあと国内で移植等が盛んに行われた結果全国的に分布するようになったと考えられるが，在来の淡水生物相への影響が懸念される。アオマツムシは1898年頃日本に侵入したが，その分布域拡大は著しく，全国制覇も近いのではないかと思われる。生活域の類似した種との関係や，果樹への被害等が懸念される。セイタカアワダチソウは前回の調査で全国分布が確認されたもので，最近は減少気味とされるものの本調査の結果では依然勢力を保っているのがわかった。

次に，オオヨシキリ，ヒバリ，ゲンジボタル，在来タンポポ，カワセミ，イワツバメの６種について東京，大阪，京都，神戸，名古屋，福岡，金沢の各周辺地域における，20万分の１レベルでの「見つかった」という情報をベースとする分布図を作成し，84年の調査データについて同様の処理をしたものと比較したところ，次のような興味深い傾向が見られた。

分布を検討した都市周辺のうち，金沢を除く地域ではいずれも全国傾向を裏付けるように都心部からオオヨシキリ，ヒバリ，ゲンジボタル，在来タンポポといった自然の河川敷，草原，土堤，広場，畑等に依存する種が減少している。

特に，東京と大阪ではこの傾向が顕著で，東京の中央線沿線を中心に畑地の宅地化によりヒバリの見られなくなった地域が増加した（図２）のをはじめ，多摩丘陵では在来タンポポの見られなくなった地域が増加している（図３）。また，大阪の恩智川，淀川，京都の木津川沿いでは河川改修等による河川敷草地の消失によってオオヨシキリが見られなくなった地域が増加している（図４）。



（注）図２～図７において分布域等を示す曲線は、該当する主なメッシュを結び、その分布傾向や概況を示したものであり、厳密な意味での連続した分布曲線等ではない。

図２　東京におけるヒバリの後退

----- 1990年調査　----- 1984年調査　——— 鉄道　——— 河川　-·-·-·- 都道府県界

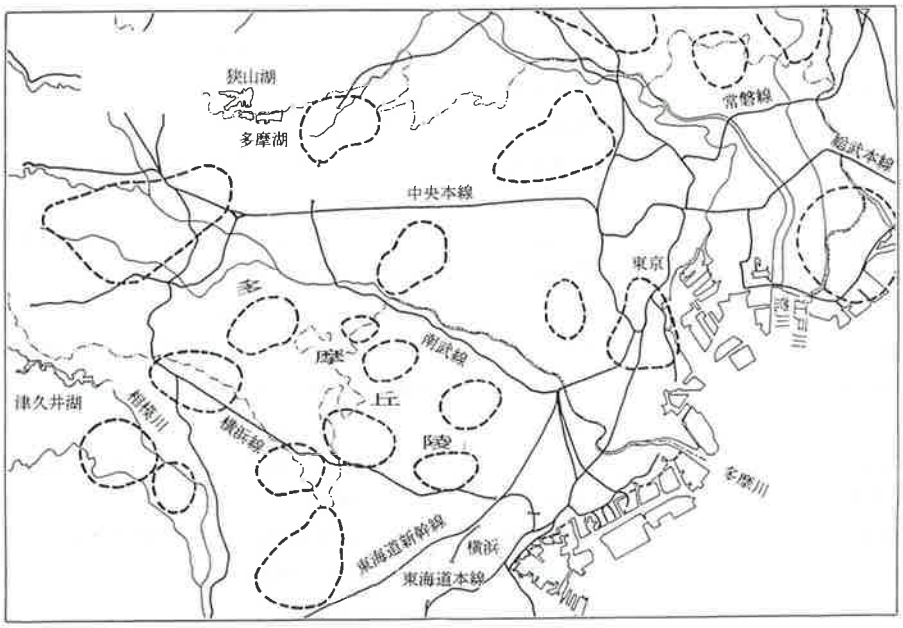


図３　東京で在来タンポポの見られなくなったところ（1984年調査と1990年調査の結果による）

------- で示す範囲　——— 鉄道　——— 河川　-·-·-·- 都道府県界

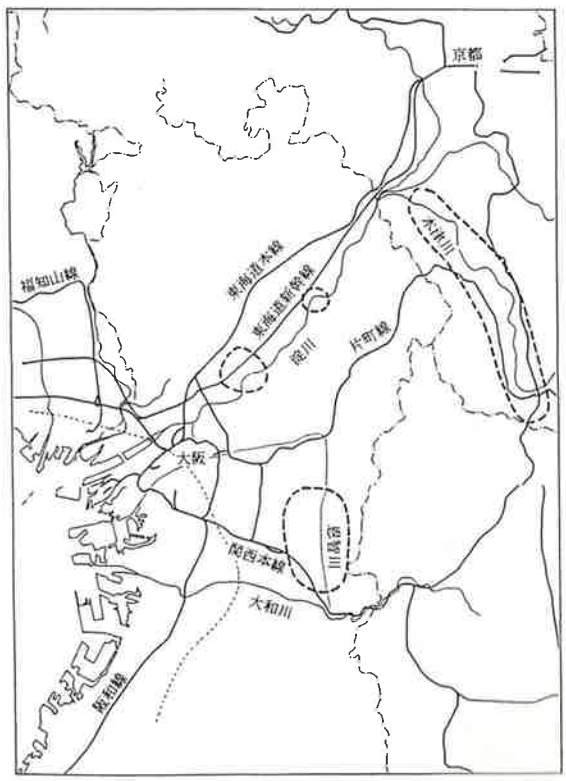


図４　京都及び大阪でオオヨシキリの見られなくなったところ（1984年調査と1990年調査の結果による）

----- で示す範囲　—— 鉄道　—— 河川　-·-·- 都道府県界　---- この線より海側は1984年以前より見られない

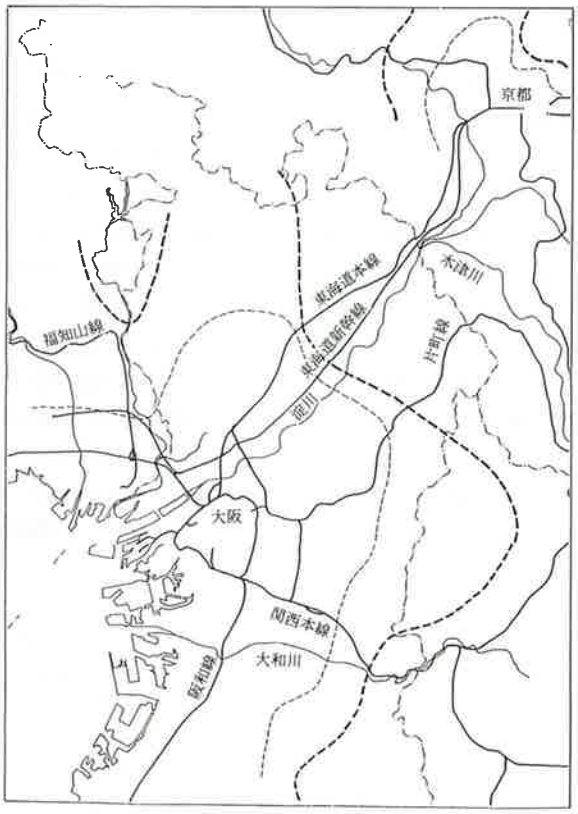


図5　京都及び大阪におけるゲンジボタルの後退

1990年調査　1984年調査　鉄道　河川　都道府県界

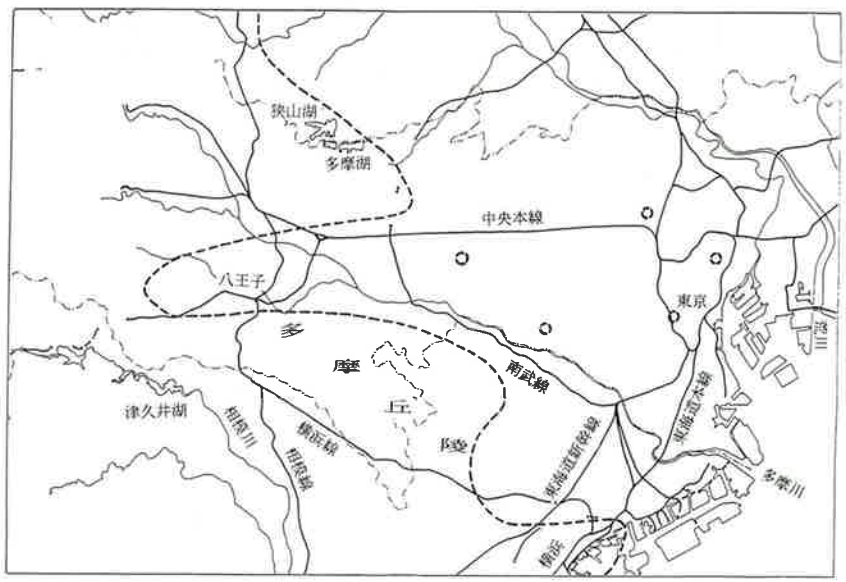


図6　東京におけるゲンジボタルの分布

で示す範囲　鉄道　河川　都道府県界

ゲンジボタルも生息地がかなり限定されてきている（図5及び図6）。

名古屋，福岡では，これらの種は全体に減少してはいるもののその傾向はそれほど顕著ではなく，福岡のヒバリのように都心を一歩出るとまだ広く分布しているものもある。

金沢では，金沢大学や兼六園をはじめとする緑地，犀川や浅野川の河川敷が比較的安定して残っていることから，これらの種も広く分布しており，目立った変化は見られない。

一方，カワセミ（図7），イワツバメは全国傾向と同様，全ての地域で都心部への進出傾向が見られた。

以上の概観は表3にまとめてある。

また、現認以外の情報，ヒガンバナの開花時期とコサギのコロニーの分布については現在集計中であるが，特筆すべき結果は得られなかった趣である。

調査結果の解析方法について

上記の結果は，単に調査対象種が「見つかった」という情報のあったメッシュの分布を全国レベルあるいは20万分の1レベルで示すという処理をした上での推察であり，極めて概略的な方法であるが，今後，こうした結果を様々な国土情報と重ね合わせたり，あるいは興味ある情報について地域レベルでの地道な検証が実施されるべきであろう。少なくとも都市周辺での解析に利用した6種についてその指標性を問うことが必要であろう。ただ，データ数が86万件を超えることから，無闇に試行錯誤を繰り返すことは困難であり，全国データからなんらかの推論を得て，後に地域レベルで詳細に解析するのが得策といえる。また，今回顕著な傾向が見られなかった種に

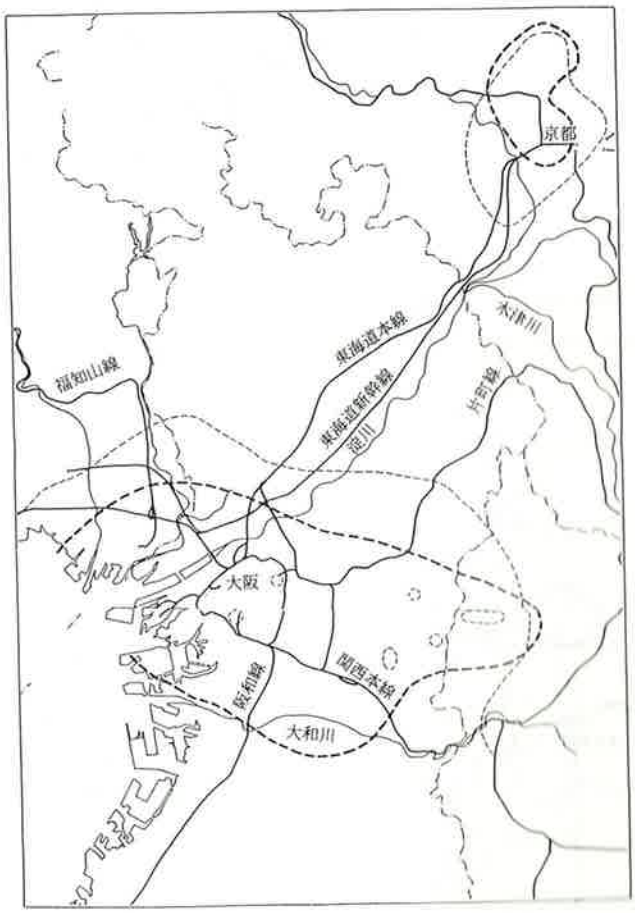


図7　京都及び大阪におけるカワセミの前進

----- 1990年調査　----- 1984年調査　—— 鉄道　—— 河川　…… 都道府県界

表３　都市の環境診断

	東京	大阪及び京都	名古屋	福岡	金沢
オオヨシキリ	河川敷を中心に広く分布するが，所々で前回発見された場所であっても，今回発見されなかった場所が見られる。	河川敷を中心に広く分布するが，所々で今回発見されなかった場所が見られる。特に，木津川，恩智川沿い。（図４）	顕著な現象はないが，都心部では今回発見されなかった場所がある。	情報不足で解析不能。	広く分布し，情報に目立った変化はない。
ヒバリ	都心から中央線沿いに発見されなかった場所が広がっている。（図２）	オオヨシキリと同様。	全体的に減少傾向。	都心を少し出ると広く分布している。	広く分布し，情報に目立った変化はない。
ゲンジボタル	全体的に減少傾向にあるが，都心部にもわずかに分布。（図６）	情報は少ない。都心部には見られない。（図５）	情報不足で解析不能。	都心部からの情報は途絶え，分布は後退した。	広く分布し，情報に目立った変化はない。
在来タンポポ	多摩丘陵でパッチ状に情報の途絶えた地域があり，宅地造成等の影響が考えられる。しかし，全体的には都心部を含め薄く広く分布が見られる。（図３）	都心から姿を消しつつある。	広く減少傾向にある。	本来分布は少なく，解析不能。	広く分布し，情報に目立った変化はない。
カワセミ	都心部へ進出。	都心部へ進出。（図７）	都心部へ進出。	進出傾向にある。	進出傾向にある。
イワツバメ	都心部へ進出。	進出傾向がある。京都では進出した。	都心部へ進出。	都心部へ進出した。	進出傾向にある。
概　観	大都市にしては身近な自然が多く残っている。都内に，公園等の緑地が多いためと考えられる。しかし，多摩丘陵等の周辺部や，都内でも所々身近な自然の消えたところがあり，懸念される。	都心部での身近な自然の減少が著しい。周辺域でも減少が進んでいる。	都心部から身近な自然が減少しつつある。	都市周辺部には身近な自然が残っているが，都心部からは減少しつつある。	都心部にも身近な自然が豊かに残っている。自然と人間生活の調和の面から注目したい都市のひとつ。

ついても，それは現時点（84年から90年）がたまたま目に見える変化の時に当たっていなかったというだけで，指標性がないということにはならない。今後も継続してデータをとるべきであろう。

これまでのこの種の調査結果を発展させた例としては，環境庁の84年あるいは90年の調査データを使ったものとして，身近な生きもののグループと地域類型を連関させて近畿圏における緑地環境を分析したもの（環境庁：1986）や，調査対象種のうち脆弱なグループを抽出し，その分布と市街地率及び緑地面積を分析することにより，福岡，名古屋，東京，新潟における環境診断を試みたもの（環境庁：1986）がある。また，個人でも，生きものの観察されたメッシュの分布を示す小縮尺の地図を作成して東京周辺の環境を具体的に考察したもの（中島直子：1990）をはじめ，特定地域について詳細に取りまとめたもの（平塚市博物館：1985及び1991，佐藤俊男：1991）等がある。

また，北海道におけるカタクリとミンミンゼミについて，環境庁の84年及び90年の調査データを検証した例もある（俵浩三，石川幸男：未発表，鈴木美緒，下平真純：1991）。

地球規模の動きの中で

筆者は，心ならずも「身近な生きもの調査」の取りま

とめ段階においてサラリーマンの宿命ともいえる人事移動の時期に当たり，現在は外務省において環境保全のための政府開発援助（ODA）を検討する立場にある。図らずも，身近な自然から地球規模での自然へと視点を移すこととなった。以下，身近な自然の保護は我々の身の回りの生物多様性の保護であるという観点から，「身近な生きもの調査」とその目的である「国土や身近な自然の診断」の意義について私的な意見を述べておきたい。

今年の6月1日から12日にかけてブラジルのリオ・デ・ジャネイロにおいて「環境と開発に関する国連会議」の開催が予定されている。この会議の目的は，持続可能な開発の実現が重要との基本的な考え方のもと，地球規模での環境悪化を防止するための戦略と手段を発展させることとされている。

この会議における成果の一つとして予定されているものに生物多様性条約の締結がある。この条約の趣旨は，かつてない早い速度で地球上から消滅しつつある生物種の保全と生物資源の適正な利用を図るものであるが，その基本的な考えにおいて注目すべきは，この条約がワシントン条約（絶滅のおそれのある野性動植物の種の国際取引に関する条約）やラムサール条約（特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約）といった希少な種の保護，あるいは特定の地域や種に限った保全を一歩踏み出して，生物の多様性そのものが重要であり，保全すべきであるとしている点ではないかと思う。

こうした考えの基礎には，将来人類が何らかの目的で利用するであろう潜在的な生物資源の選択枝を可能な限り残しておきたいという功利的な動機があることは否めない。しかしながら，地球上の生物はすべて複雑に関連しあって生存していることを鑑みれば、生物多様性の喪失とはつまり人類をふくむ生態系の劣化に他ならず，やがては我々の存続にまでその影響が及ぶことに重大な懸念が払われていることも確かである。

この様な国際舞台での動きに比して，国内の生物多様性の保護に対する行政の対策はどの程度進展しているのであろうか。希少な種の保護や重要な自然生態系を有する地域の保全については法律の制定をはじめ様々な対策が図られているが，その実施において開発との調整に四苦八苦しているのが現状であり，生物の多様性そのものを保護するというところまでは至っていない。かなり乱暴な言い方ではあるが，開発にあたってイリオモテヤマネコやシマフクロウ等は絶滅危惧種として象徴的に取り扱われることが多く，科学的な根拠の希薄さには関わらずある程度その保護を保証，あるいは少なくとも検討程度は行われるが，ゲンジボタルやタガメ等はその状況が前者より若干楽観的というだけで，その保護が必ずしも開発と同程度の重要性をもって検討されるとは限らないし，在来タンポポやヒバリ等に至っては，都市部からの減少が常に取りざたされる割にはその保護が真剣に検討される趣はない。ここには，生物多様性条約交渉の下地となっている生物との共生といった概念はない。

こうした概念は，身近な生き物への愛着あるいは年配者の郷愁等とあいまって，大都市居住者を中心に市民のレベルではかなり浸透してきているといってもいいが，残念ながら社会一般の理念となって行政や政治の転換を促すまでには至っていない。日本の自然保護が今以上に質の高いものとなるためには，一層の理解が望まれる。

確かに，生物多様性の保全において，生態系の中で最も高次にいるものの危機を持って対策を構ずべきラインとすることもひとつの賢明な選択ではあるが，生態系の中で現在最も幅を利かしているものの動向も非常に分かりやすいラインの一つではないだろうか。

さらに，生物多様性の保護に関して，希少種の保護は専門家の領域だが，身近な自然の保護は国民がそれぞれの立場で容易になしうることである。例えば開発プロジェクトの設計にあたっては，多くの人が携わるであろうが，それぞれの立場で「身近な生きもの調査」の対象種となっているような生きものの保護を念頭におくことはそれほど負担になるとは思えない。一方で，一旦計画が固まってしまうと如何に些細なことでも変更が困難であることは例をあげるまでもない。また，そういった積極的立場にいない一般市民の場合でも，保護とまでは行かなくても，生物の生息に干渉しないことや，あるいは我々の生活上なんらかの干渉が不可避な場合に，生物の生息に配慮する程度のことは誰にでもできる。

「身近な生きもの調査」の結果から，生物多様性の状況を客観的に把握することはできないが，身近な生きものがいなくなることによって，我々と共に暮らしている生きものがいるという感覚の喪失をまねくことは否めない。そうした感覚の喪失が，いまや地球規模で問題視され，議論されるべき時代にあることを，誰しもが強く認識しつつ，担保歩や蛍を見つめて頂きたいものである。さらには，本稿が読者の目に触れる頃には公表されているであろう「身近な生きもの調査」の最終報告書の分布

図を眺めて頂きたい。

謝　　辞

最後に，「身近な生きもの調査」について述べる機会を，２度に渡って与えて頂いた「日本環境動物昆虫学会」及び大日本除虫菊株式会社に，そして本稿をまとめるにあたって多くの資料，参考文献を提供頂いた環境庁自然環境調査室に心から感謝する次第である。特に，本稿の（調査結果）の項，図表等は下記資料を引用あるいは改訂したものであることをお断りしておきたい。

引 用 文 献

平塚市博物館（1986）緑の国勢調査 85

平塚市博物館（1992）身近な生き物調査1991報告書

茨城県環境局環境管理課（1991）〔緑の県政マップができました〕

金沢市（1988）調査のてびき

環境庁（1982）〔第２回自然環境保全基礎調査報告書〕

環境庁自然保護局（1986）近畿圏における緑地環境の整備保全計画調査報告書

環境庁自然保護局自然環境調査室（1981）第４回自然環境保全基礎調査「身近な生きもの調査」の結果について

環境庁自然保護局自然環境調査室（1985及び1991）みどりのたよりNo.２

環境庁自然保護局自然環境調査室（1986）動植物分布調査解析等業務報告書

環境庁自然保護局自然環境調査室（1991）海のいきもの地図

㈱環境情報科学センター編：自然環境アセスメント指針，朝倉書店

松中昭一編：図説　環境汚染と指標生物　朝倉書店

緑区・自然を守る会（1991）赤田通信

中島直子（1990）生き物地図からみた都市環境

㈶日本自然保護協会編：指標生物　－自然をみるものさし－，思索社

西宮市：調査のてびき

佐藤俊男（1991）柏崎市立博物館館報No.４　第４回緑の国勢調査～柏崎市における身近な生き物調査～

指標生物調査委員会（1988）大阪府高等学校生物教育研究会40周年記念式典記念事業報告資料

鈴木美緒，下平真純（1991）身近な動植物の分布調査＜カタクリとミンミンゼミ＞

俵浩三，石川幸男（未発表）北海道におけるカタクリとミンミンゼミの分布

宇都宮市環境部環境課（1990）宇都宮市ホタル生息調査報告書